A richiesta il secondo DVD della serie «Nel giardino di Darwin»

Febbraio 2011 € 3,90

www.lescienze.it
edizione italiana di Scientific American

Il sangue del T. rex

Resti di sangue, cellule e artigli possono conservarsi nei fossili per milioni di anni, gettando nuova luce sulla storia dei dinosauri

Internet
Il creatore del Web in difesa della libertà degli spazi digitali

Fisica teorica
Una nuova, elegante geometria combina tutte le forze della natura

Evoluzione
L'adattamento al clima dell'Antartide nel DNA dei pinguini di Adelia

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 510

moneybookers.com

- Invia fondi istantaneamente
- Massima sicurezza online
- Ricevimento di pagamenti
- MasterCard Moneybookers

SERVIZI DISPONIBILI

Trasferimento internazionale di denaro

Non potete accedere alla vostra banca? Non volete spendere una fortuna in costi di trasferimento e di conversione di valuta? Questa è la soluzione a basso costo per inviare e ricevere denaro nel mondo, fra familiari o amici o verso il vostro conto bancario quando siete all'estero, in oltre 40 valute.

Acquisti online

Ogni giorno sempre più commercianti accettano i pagamenti Moneybookers. Così potete pagare direttamente e in modo sicuro senza rivelare i dati del vostro conto bancario o della carta di credito. Visitate subito la nostra guida agli acquisti per vedere dove potete acquistare e scoprire straordinarie offerte esclusive.

Versamento di denaro

Un conto Moneybookers comprende già il deposito sicuro e gratuito. Effettuate versamenti e prelievi quando volete e utilizzate il vostro denaro presso tutti i vostri siti preferiti. Possiamo pensare a questo come a un borsellino online. Come tutto in Moneybookers, esso vi concede la totale libertà nel modo più semplice possibile.

Soluzioni di pagamento flessibili per la tua vita online.

Che stiate inviando o ricevendo denaro oppure effettuando pagamenti online, con Moneybookers avete bisogno solo di un indirizzo e-mail e di una password. Non c'è bisogno di inserire ogni volta tutti i vostri dati di pagamento. Aprire un conto Moneybookers richiede pochi secondi ed è assolutamente gratuito.

Come scegliete di effettuare versamenti dipende da voi. Offriamo oltre 100 opzioni locali di pagamento fra cui scegliere. Potete collegare una carta di credito o di debito, trasferire denaro e usarlo nel modo che preferite..

Per ogni operazione, i vostri dati personali rimangono al sicuro con Moneybookers, così non dovrete comunicarli a qualcuno che non conoscete. Una cosa sempre più da evitare man mano che la vostra vita online diventa più intensa.

Moneybookers libera da queste preoccupazioni.

Le soluzioni comode e flessibili che vi proteggono sempre, ovunque siate e qualunque cosa facciate.

IN COPERTINA

Un numero sempre maggiore di ricerche sta portando alla luce resti di sangue, cellule delle ossa e altri tessuti molli di dinosauri, gettando nuova luce sull'evoluzione di questi antichi dominatori del pianeta. Roger Harris/SPL/Contrasto (*T. rex*)

Sommario

febbraio 2011 numero 510

Spike Walker

Sommario

14

19

105

Rubriche

SCIENZA NEWS

Michael Hoch/CERN (*LHC*); Dr. Gopal Murti/SPL/Contrasto (*fibroblasti*); Koji Sasahara/AP Photo/LaPresse (*tonno*)

di Marco Cattaneo

La nostra libertà

Tim Berners-Lee e il futuro del World Wide Web

Ci sono eventi, pochi in verità, capaci di cambiare la vita di tutti in un batter di ciglia, e per sempre. Uno di questi è stato, senza dubbio, l'invenzione del World Wide Web, vent'anni fa. Un minuto prima non c'era, un minuto dopo non potevamo più farne a meno. Nella spazio di una generazione ha rivoluzionato il modo di comunicare e di fare comunicazione, di raccogliere informazioni e di produrre informazione. Molto più della televisione, che riguarda sì tutti, ma solo per l'aspetto passivo della fruizione, e forse persino più dell'invenzione della stampa a caratteri mobili.

A vent'anni da quella formidabile intuizione, che doveva soprattutto permettere ai ricercatori di condividere il loro lavoro con maggiore facilità, Tim Berners-Lee – il Gutenberg del 2000 – espone le sue riflessioni, e le sue più intime preoccupazioni sul futuro della sua «creatura» in *Lunga vita al Web*, a pagina 36. Perché oggi il Web è minacciato, dice, «da alcuni dei suoi abitanti di maggiore successo». Sono *social network*, provider Internet, governi. Che tendono, rispettivamente, a rendere più difficile l'accesso alle informazioni, a favorire i partner commerciale, a ficcare il naso nella vita privata dei cittadini.

«Il Web –continua Berners-Lee in quello che potrebbe essere definito il manifesto della libertà digitale – è cresciuto fino a diventare uno strumento potentissimo ed estremamente diffuso grazie ai principi egualitari su cui è stato costruito», e «l'universalità è il principio progettuale alla base della crescita e dell'utilità della grande ragnatela mondiale». Insomma, perché ne sia conservato lo spirito, il Web non può, non deve cadere sotto il controllo di pochi giganti che possano manipolarne la natura. In questa luce difendere il Web è, né più né meno, tutelare la democrazia.

Certo, in questi termini può sembrare pretenzioso, ma quando si colgono le ragioni profonde del messaggio di Tim Berners-Lee non si può non concordare, e non si riesce a non preoccuparsi per il destino

Tim Flach/Ston/Getty Images

di quello che, se ci pensate bene, è un altro regalo di valore inestimabile che ci ha fatto la scienza. Quando ha ideato il Web, Berners-Lee lavorava al CERN di Ginevra, e pensò che i fisici delle particelle avrebbero lavorato meglio se avessero potuto accedere rapidamente ai materiali in forma di ipertesto, con parole, immagini, suoni, video...

È grazie alla scienza, dunque, se oggi possiamo informarci, scaricare musica, studiare, leggere, *partecipare*. Ed è giusto che tutti siamo pienamente consapevoli del messaggio di Tim Berners-Lee. Perché il Web è di tutti.

Arriva la rivoluzione: l'evoluzione dell'uomo

Ultimo appuntamento con la serie *Nel giardino di Darwin*, che ricostruisce l'avventura intellettuale di Charles Darwin nel periodo successivo al viaggio intorno al mondo a bordo del Beagle, ricreando gli esperimenti fatti dal naturalista inglese nel giardino di casa, Down House. Nel terzo DVD intitolato *Uomini e scimmie* e allegato a richiesta con il numero di marzo, il conduttore ed entomologo Jimmy Doherty ripercorre la serie di studi grazie a cui Darwin ha concluso che discendiamo da scimmie vissute in tempi remoti nel continente africano. Una teoria, quella dell'evoluzione dell'uomo, che all'epoca del naturalista inglese aveva suscitato molto scalpore ma che in seguito è stata confermata da numerosi studi genetici e paleontologici.

Il primo esperimento proposto da Doherty riguarda il lavoro di Darwin sui lombrichi, a cui il padre della teoria dell'evoluzione attribuiva una qualche intelligenza, seppur rozza. Più in generale Darwin era convinto che l'intelligenza e altre caratteristiche degli esseri umani in realtà si trovassero anche in altre specie. Per esempio, uno degli esperimenti riproposto da Doherty riguarda la curiosità delle scimmie, pericolosamente attratte da gabbie con serpenti; un altro illustra la capacità delle grandi scimmie antropomorfe di riconoscersi allo specchio.

Ma per concludere che l'uomo discende dalle scimmie, il naturalista inglese ha indagato anche sugli esseri umani, grandi e piccini. Darwin ha studiato lo sviluppo dei bambini seguendo quello dei propri figli, producendo importanti lavori scientifici. E ha indagato sulle espressioni del viso, guidate dalla muscolatura facciale, confrontandole con quelle di altri primati. Tutto questo ha permesso di togliere l'uomo dal centro del mondo animale, dando vita a una delle più importanti rivoluzioni culturali della nostra storia.

Il libro di marzo, inedito in Italia

Eternità. Il nostro prossimo miliardo di anni

Un paio di secoli fa, l'umanità aveva cominciato a fare enormi progressi nella comprensione delle leggi di natura, e aveva mosso i primi passi nella tecnologia moderna. Ma davvero nessuno, a quell'epoca, poteva immaginare come sarebbe stato il mondo ai giorni nostri, nemmeno la mente più visionaria e brillante. Perché in fondo, dice Michael Hanlon nell'introduzione di *Eternità*, il libro inedito in Italia che sarà allegato al numero di marzo di «Le Scienze», il nostro mondo non era cambiato di molto per migliaia di anni.

È divertente, dice Hanlon, provare a speculare sul nostro futuro come specie, sul futuro del pianeta e della vita che lo abita. E inizia la sua avventura dal futuro che conosciamo, o crediamo di conoscere. Dal riscaldamento globale con i suoi potenziali effetti alla rivoluzione medica dettata dal DNA, fino alle nanotecnologie. Ma non si ferma certo qui. Anzi, passando dalle previsioni a breve termine alle visioni a lungo e lunghissimo termine, scatenando l'immaginazione oltre ogni confine temporale, arriva a raccontarci che la nostra scienza sa dirci con un ragionevole margine di certezza che cosa accadrà alla Terra tra un miliardo di anni. A essere sinceri, con molta più accuratezza di quanto non possa dirci su che cosa saranno l'umanità, la scienza e la tecnologia tra appena un secolo.

di Enrico Bellone

Il rumore di un albero che cade

Dai quesiti filosofici di Woody Allen ai difficili rapporti tra scienza e senso comune

Ho letto da qualche parte che le idee si propagano come i virus. Senza cioè tener conto delle nostre aspettative o dei nostri desideri. Anche quando si tratta di idee che violano le regole di senso comune che usiamo tutti i giorni per orientarci nel vivere. Ne ha parlato, in modo esemplare, uno dei maggiori scienziati contemporanei: Giorgio Parisi, che ha appena ricevuto quella medaglia Planck che in precedenza era stata assegnata a personaggi come Einstein, Heisenberg, Dirac o Fermi. Intervistato da Antonio Gnoli su «la Repubblica», Giorgio Parisi ha infatti ricordato, sul finire dell'anno scorso, che quasi sempre la scienza viola il senso comune e che «lo stesso mondo galileiano era piuttosto distante dal mondo reale».

Vi chiederete forse, a questo punto, che rapporti possano mai esistere tra gli argomenti di Parisi, il «mondo galileiano» e l'analogia tra idee e virus. Per rispondere, faccio un esempio. Potete trovare in libreria un curioso libro intitolato *La vita secondo Woody Allen*. Lo ha recensito Armando Massarenti su «Il Sole-24 Ore» parlando di un Woody Allen che confessa di aver coltivato interessi filosofici: «La mia domanda astratta preferita era: se un albero cade nella foresta e non c'è nessuno che lo sente, fa rumore?».

La tesi ironica di Allen ve la lascio come sorpresa. Mi limito a sottolineare come la domanda faccia parte proprio del «mondo galileiano». Ne trovate una esposizione memorabile in *Il Saggiatore*, che Galilei diede alle stampe nel 1623. Quelle pagine galileiane demolivano tutte le opinioni tradizionali sulla realtà dei colori o dei suoni: un osservatore *percepisce* il rumore perché ha le orecchie, non perché il rumore sia una proprietà reale del mondo. Se non ci sono orecchie, non ci sono rumori, e se non ci sono occhi, non ci sono colori.

Le idee galileiane migrarono nel Seicento in forme imprevedibili: riappaiono negli scritti del chimico Boyle, del filosofo Locke o del fisico Newton. Insomma, il «mondo galileiano» evocato da Giorgio Parisi era – e rimane – «distante dal mondo reale», e cioè da quella concezione abitudinaria della *realtà* che era – ed è – conforme alle nostre quotidiane aspettative e alle nostre quotidiane percezioni delle cose e delle loro proprietà. E poi, nei secoli successivi, la propagazione delle idee galileiane si è intensificata, e ha subito mutazioni sconcertanti: ha investito le nostre credenze su che cosa siano, *in realtà*, gli oggetti, lo spazio, il tempo o il principio di causa, e ha messo a soqquadro l'intero universo del senso comune.

Quest'ultimo, comunque, è ancora dato per scontato da miliardi di esseri umani. In fin dei conti, le sue regole sono, da millenni, più che sufficienti per sopravvivere, mentre la loro demolizione interessa solo una minoranza di scienziati. Sta qui, probabilmente, la ragione per cui l'ultimo premio a Giorgio Parisi non ha invaso le prime pagine dei quotidiani e non è stato al centro dei telegiornali.

Domande metafisiche. Il rumore di un albero che cade è una proprietà del mondo reale, indipendente dall'esistenza di un ascoltatore?

Redmar Berduszek/iStockphoto

Come era già chiaro per Galilei, infatti, il consenso attorno al senso comune è fondamentale per conservare le architetture della società, esercitare il potere nella conservazione dell'esistente e garantire il blocco delle innovazioni. Possiamo solo sperare che la diffusione del virus della conoscenza abbia anche in Italia un picco, e che il picco duri abbastanza da infettare milioni e milioni di cittadini. Costringendo così le classi dirigenti a progettare e realizzare, finalmente, la modernizzazione del paese. Cominciando dalla scuola e dall'università.

a cura di Giovanni Spataro

Caro, carissimo carbone

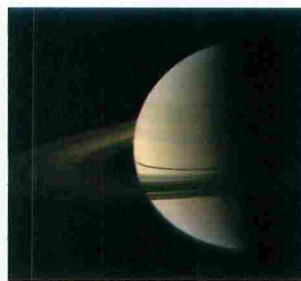
Entro dieci anni potrebbero esaurirsi le riserve economiche e di qualità

Le politiche energetiche basate sul carbone a buon mercato non hanno futuro (si veda *Che fare del carbone*, in «Le Scienze» n. 459, novembre 2006). È la conclusione di un'analisi pubblica su «Nature» da Richard Heinberg e David Friedly, entrambi del Post-Carbon Institute di Santa Rosa, entrambi in California.

I due non dubitano che le riserve di questo combustibile, considerato l'alternativa al petrolio, saranno accessibili per molto tempo ancora. Ma affermano che presto il carbone di qualità e a buon mercato non sarà più disponibile, un passaggio che potrebbe avvenire addirittura entro il 2020. La loro conclusione è basata sia su studi recenti per cui il carbone conveniente e di qualità non è abbondante come previsto sia sulla crescita della domanda globale guidata dalla Cina, che è anche il principale produttore di carbone.

Ridiventare giovani

Prove di elisir? Un esperimento sui topi ha mostrato che è possibile invertire il processo di invecchiamento di un organismo.

Viviamo sempre più a lungo, soprattutto i cittadini di paesi ricchi e liberi da conflitti. Questa tendenza ha certamente un fattore ambientale (sistema sanitario, qualità della vita e così via) a cui però si accompagnano altri due ineludibili fattori, uno biologico e uno genetico, ormai al centro di numerose ricerche, anche per capire se ha un limite invalicabile (si veda *Perché non possiamo vivere per sempre?*, in «Le Scienze» n. 507, novembre 2010).
Ora uno studio pubblicato su «Nature» da Ronald DePinho, del Dana-Farber Cancer Institute di Boston, ha dimostrato che, con opportuni segnali chimici, è possibile addirittura far ringiovanire un organismo. Protagonisti della scoperta sono stati topi geneticamente modificati da DePinho per non esprimere uno dei geni che codifica per la telomerasi, l'enzima che ripara i telomeri, strutture dei cromosomi che si degradano naturalmente con l'avanzare dell'età, favorendo l'invecchiamento dell'organismo. DePinho però ha lasciato aperta una «porta», cioè ha modificato il DNA delle cavie in modo che, somministrando un'opportuna sostanza, fosse possibile riattivare il gene della telomerasi.
Con il passare del tempo, i topi geneticamente modificati hanno iniziato a mostrare, come atteso, i segni di un invecchiamento precoce. Quando però è stata somministrata loro la sostanza per riattivare la telomerasi, la sorpresa è stata grande. Non solo l'enzima ha bloccato il processo di invecchiamento, ma lo ha addirittura invertito, favorendo la rigenerazione dei tessuti di diversi organi, tra cui testicoli, milza e intestino. Inoltre la riattivazione della telomerasi ha invertito la neurodegenerazione, favorendo la proliferazione di cellule progenitrici neurali, la generazione di nuovi neuroni e un olfatto migliore.

Niente cometa. Una nuova teoria collega la formazione degli anelli di Saturno a un satellite di grandi dimensioni.

Anelli da satellite

Gli anelli di Saturno potrebbero essersi formati in seguito alla collisione con il pianeta di un satellite delle dimensioni di Titano. È la conclusione di una ricerca pubblicata su «Nature» da Robin M. Canup, del Southwest Research Institute.
Oggi gli anelli sono composti per il 90-95 per cento da ghiaccio d'acqua e per il resto da polveri e detriti di meteoriti rocciosi: una sproporzione che fa ritenere che all'inizio fossero costituiti da ghiaccio puro. Si tratta infatti di una composizione anomala, se confrontata con altri materiali della parte più esterna del sistema solare, costituiti per metà da ghiaccio e per metà da materiali rocciosi. In modo simile, si è scoperto dalle misure di densità che i satelliti di Saturno sono insolitamente ricchi di ghiaccio. Queste circostanze hanno portato Canup a rivedere la teoria sull'origine degli anelli, secondo cui si sarebbero formati in seguito all'impatto con una cometa (si veda *Gli anelli dei pianeti*, in «Le Scienze» n. 403, marzo 2002). Dai risultati emerge quindi una nuova teoria, che collega la formazione degli anelli a quella dei satelliti di Saturno, di cui uno solo, Titano, è di grandi dimensioni, a differenza di Giove, che ne ha quattro.

Icecube: completato

Con l'inserimento del rivelatore 5160 è stata completata la costruzione di Icecube, il più grande osservatorio per lo studio di neutrini, collocato sotto l'Antartide. Composto da 86 file di rivelatori collocate tra 1,45 e 2,45 chilometri di profondità, Icecube dovrebbe diventare operativo ad aprile, quando inizierà a raccogliere dati sui neutrini provenienti da sorgenti astronomiche, fornendo un contributo fondamentale per lo studio di strutture del cosmo (si veda *Con gli occhi dei neutrini*, in «Le Scienze» n. 403, marzo 2002).

AP Photo/LaPresse (*minatore con carrello di carbone*); Brandon Laufenberg/iStockphoto (*topo*); NASA/JPL/Space Science Institute (*Saturno*)

LA SINFONIA DEL NEGEV, L'ARMONIA DELLA TERRA SANTA.

LA TUA VACANZA, ANIMA E CORPO.

A partire da

630€

www.goisrael.it

UN PAESE, UN ALTRO MONDO.

1
Olax
FAMIGLIA: Olacaceae
GENERE: *Chaunochiton*

2
Fagiolo
FAMIGLIA: Fabaceae
GENERE: *Enterolobium*

3
Zucca
FAMIGLIA: Cucurbitaceae
GENERE: *Melothria*

4
Palma
FAMIGLIA: Arecaceae
GENERE: *Desmoncus*

ECOLOGIA

Semi dell'Amazzonia

I botanici hanno raccolto semi da uno dei luoghi con il maggior grado di biodiversità della Terra

di Anna Kuchment

Alcuni somigliano a un cervello, altri a punte di freccia, perline, eliche, batuffoli di cotone. I semi hanno sviluppato molte di queste strabilianti caratteristiche per migliorare la loro capacità di propagarsi nell'ambiente. I semi a forma di perlina dell'arbusto Ormosia (8) attirano gli uccelli con il loro colore rosso brillante. Scambiandoli per bacche, gli uccelli strappano i semi dal frutto e li espellono in un vasto territorio. I semi muniti di ali (18, 19), invece, viaggiano con le correnti atmosferiche; alcuni (12) hanno una zavorra sul fondo, in modo da potersi piantare nel terreno della foresta; altri (5, 22) possono prolungare il proprio viaggio galleggiando in fiumi e torrenti.

I semi presentati in queste pagine sono solo alcuni dei 750 esemplari che i botanici Fernando Cornejo e John Janovec, del Botanical Research Institute del Texas, hanno di recente catalogato in Amazzonia. In fatto di dimensioni, vanno dai cinque millimetri (10), più o meno come una lenticchia, a 100 mm (1), la taglia di una ciambella. «I semi sono la base della diversità vegetale», afferma Janovec. «Rappresentano l'impronta genetica che passa da una generazione all'altra». La loro guida, *Seeds of Amazonian Plants*, pubblicata dalla Princeton University Press, aiuterà gli scienziati a capire come si rigenerano le foreste, come si disperdono le piante, e come le diverse specie di questa preziosa regione tropicale si evolvono insieme come un unico ecosistema.

17
Monimia
FAMIGLIA: Monimiaceae
GENERE: *Mollinedia*

18
Aristolochia
FAMIGLIA: Aristolochiaceae
GENERE: *Aristolochia*

19
Bignonia
FAMIGLIA: Bignoniaceae
GENERE: *Anemopaegma*

20
Zucca
FAMIGLIA: Cucurbitaceae
GENERE: *Selysia*

David Liittschwager

5

Lafoensia

FAMIGLIA: Lythraceae
GENERE: *Lafoensia*

6

Anacardio

FAMIGLIA: Anacardiaceae
GENERE: *Antrocaryon*

7

Euforbia

FAMIGLIA: Euphorbiaceae
GENERE: *Hevea*

8

Fagiolo

FAMIGLIA: Fabaceae
GENERE: *Ormosia*

9

Morning glory

FAMIGLIA: Convolvulaceae
GENERE: *Calycobolus*

10

Fiore della passione

FAMIGLIA: Passifloraceae
GENERE: *Passiflora*

11

Fagiolo

FAMIGLIA: Fabaceae
GENERE: *Dialium*

12

Grano saraceno

FAMIGLIA: Polygonaceae
GENERE: *Triplaris*

13

Palma

FAMIGLIA: Arecaceae
GENERE: *Hyospathe*

14

Asclepiade

FAMIGLIA: Apocynaceae
GENERE: *Macoubea*

15

Fiore della passione

FAMIGLIA: Passifloraceae
GENERE: *Passiflora*

16

Fagiolo

FAMIGLIA: Fabaceae
GENERE: *Parkia*

21

Icacinacee

FAMIGLIA: Icacinaceae
GENERE: *Calatola*

22

Rosa brasiliana

FAMIGLIA: Cochlospermaceae
GENERE: *Cochlospermum*

23

Sabiacee

FAMIGLIA: Sabiaceae
GENERE: *Meliosma*

24

Noce del Costa Rica

FAMIGLIA: Caryocaraceae
GENERE: *Caryocar*

di Folco Claudi

LHC: l'alba di una nuova fisica

Il più grande acceleratore di protoni, in funzione al CERN, ha un obiettivo ambizioso: cercare nuova fisica che risolva le questioni lasciate aperte dal modello standard

La fisica delle particelle è a una svolta: i fasci di protoni hanno cominciato già da un anno a correre lungo i 27 chilometri del tunnel sotterraneo del CERN di Ginevra. LHC, il più potente e complesso acceleratore mai realizzato, potrà dire una parola definitiva sull'esistenza del bosone di Higgs, potrebbe produrre la particella che compone la materia oscura dell'universo e permetterà di cercare la tanto attesa fisica nuova oltre il modello standard.

Alla guida di ATLAS, uno dei quattro esperimenti che dovranno rivelare gli eventi della «vecchia» così come della «nuova» fisica vi è da alcuni anni una scienziata italiana, Fabiola Gianotti, alla quale abbiamo rivolto qualche domanda per illustrare una delle imprese scientifiche più ambiziose di tutti i tempi.

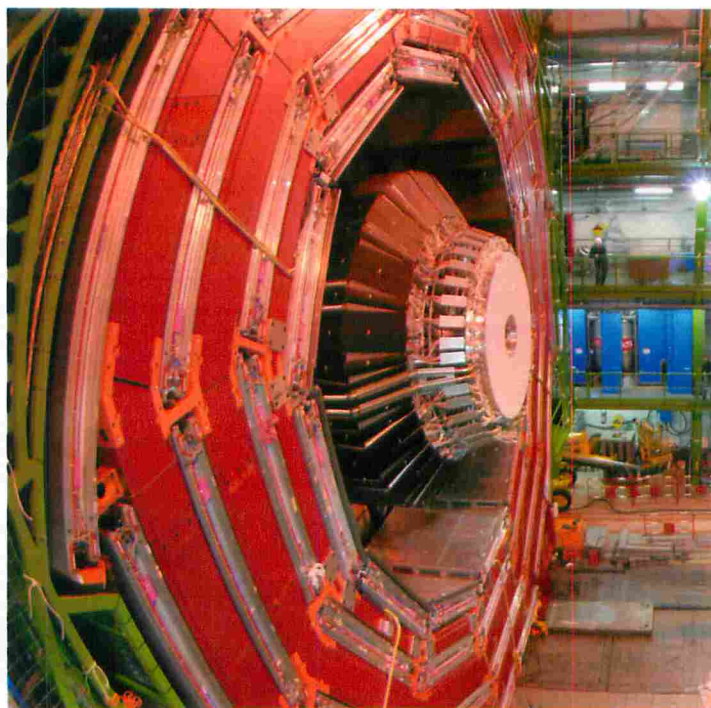
Il mondo della fisica è in grande fermento per le grandi possibilità offerte da LHC. A che punto è la «lunga marcia» verso gli obiettivi scientifici dell'acceleratore?

Il primo passo è la fase di collaudo e di calibrazione dei rivelatori: uno dei risultati di rilievo dell'anno appena passato è stato proprio riuscire a fare tutto questo in tempi brevissimi, molto più rapidi di quanto atteso. Il secondo passo importante è stato riscoprire le particelle del modello standard già note: tra aprile e maggio abbiamo osservato le particelle *Z* e *W*, i mediatori della forza debole, in giugno abbiamo raccolto prove della produzione di quark top, la particella elementare più pesante osservata finora, scoperta nel 1995 al Tevatron del Fermilab di Chicago. Un risultato mai replicato da altri acceleratori, visto che prima dell'arrivo di LHC Tevatron era la macchina di più alta energia al mondo. Con ATLAS abbiamo a oggi circa 700 eventi dovuti alla produzione di top, quindi già una buona messe di eventi. Tutto questo è dovuto all'eccezionale prestazione dell'acceleratore e degli esperimenti.

I fasci di protoni di LHC si incrociano in quattro punti lungo il percorso, e in ogni punto è posto un rivelatore. In che cosa si differenziano tra loro i diversi dispositivi?

ATLAS e CMS sono rivelatori di carattere generale, simili per quanto riguarda gli obiettivi ma diversi e complementari per le tecnologie scelte, e sono progettati per osservare, oltre ai fenomeni della fisica standard, anche qualsiasi nuova fisica la natura ci riservi. LHCb e ALICE hanno due scopi particolari: nel primo caso studiare l'asimmetria tra materia e antimateria; nel secondo, studiare la formazione di un plasma di quark e gluoni attesa nelle collisioni fra ioni pesanti. Si ritiene che questo plasma permeasse l'universo primordiale circa dieci microsecondi dopo il big bang.

Con le energie estreme che può raggiungere, fino a 7 teraelettronvolt per fascio, LHC potrà dunque dire una parola definitiva sul bosone di Higgs? E quanto ci vorrà?

Michael Hoch/CERN

Vorrei precisare che parliamo del meccanismo di Higgs previsto dal modello standard e non di quello di altre teorie più esotiche. Studi effettuati fino a oggi al LEP e al Tevatron inducono a pensare che l'Higgs debba essere abbastanza leggero, cioè sotto i 200 gigaelettronvolt. In ogni caso, LHC ha un potenziale di scoperta su tutto l'intervallo di massa previsto: se non lo si trova, significa che il meccanismo di Higgs del modello standard è sbagliato.

Riguardo i tempi è difficile fare una previsione. Dipende dalla massa e da come funzionerà LHC; se la prestazione continua a essere così spettacolare, entro due anni si dovrebbe poter chiudere il discorso: o scoprirlo o escludere la sua esistenza e quindi falsificare la teoria standard, circostanza che aprirebbe la strada ad altre spiegazioni per le masse delle particelle.

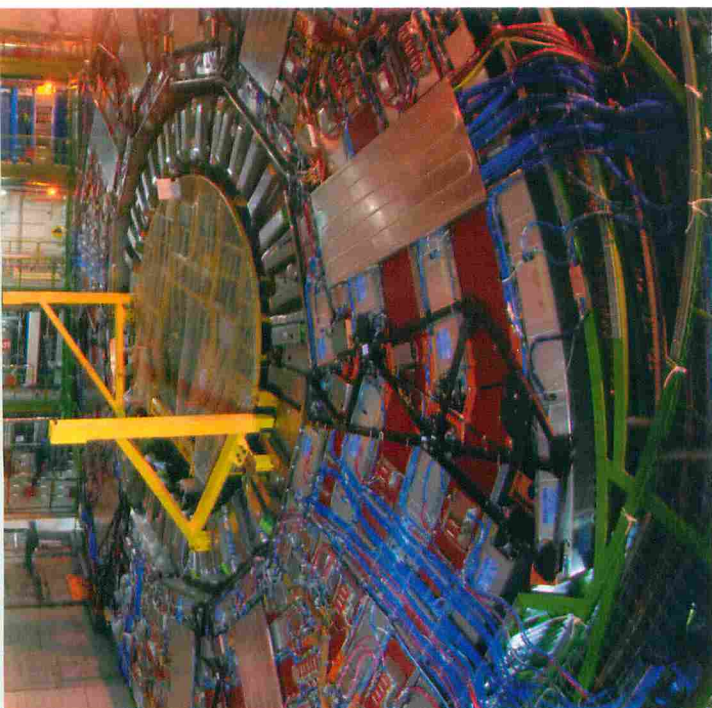
Un progetto scientifico ambizioso si regge su una struttura tecnologica e organizzativa di grande complessità. Quali sono stati i passi significativi che hanno portato alla sua realizzazione?

LHC è un progetto senza precedenti: ha richiesto lo sviluppo di nuovi concetti, l'introduzione di tecnologie innovative, e molte, moltissime idee per risolvere i problemi legati alla costruzione di un acceleratore e a esperimenti tanto complessi e all'avanguardia. Sarebbe impossibile elencare tutti i problemi e le sfide che abbiamo dovuto affrontare e risolvere in vent'anni di progettazione, test

CHI È

Fabiola Gianotti ha conseguito il dottorato di ricerca in fisica subnucleare all'Università di Milano, e dal 1994 è ricercatrice al CERN di Ginevra.
Oggi dirige l'esperimento ATLAS al Large Hadron Collider (LHC), uno dei progetti scientifici più complessi e ambiziosi di tutti i tempi, a cui partecipano 3000 scienziati di tutto il mondo.
Ha lavorato in vari esperimenti (UA2, ALEPH, ATLAS), nei quali si è occupata di ricerca, sviluppo e costruzione di rivelatori, e di analisi dei dati.
Ha fatto parte di numerosi comitati scientifici internazionali, in Europa e negli Stati Uniti, fra cui il Consiglio scientifico del CNRS in Francia.
Nel 2009 è stata insignita del titolo di Commendatore della Repubblica per meriti scientifici dal presidente della Repubblica Giorgio Napolitano.

Simili ma diversi. Sopra, una fase della costruzione di CMS. Sotto, ATLAS, sempre durante la costruzione. Questi due rivelatori hanno obiettivi di ricerca simili, ma tecnologie diverse e complementari.

Cortesia Gianotti (*Gianotti*); CERN (*ATLAS*)

di ogni tipo e costruzione. È comunque importante che molte delle innovazioni in campo tecnologico che LHC ha richiesto, dalla criogenia all'uso di nuovi materiali, dall'elettronica alla distribuzione e trattamento dei dati, trovino oggi applicazioni in altri campi (medico, industriale e così via) a vantaggio della vita di ogni giorno.

Dal punto di vista organizzativo, questi grandi progetti richiedono una struttura gestionale e organizzativa per essere efficienti ed efficaci. Per esempio, ad ATLAS partecipano 3000 fisici da 38 paesi di tutto il mondo. Ma questa organizzazione deve essere abbastanza leggera in modo da non soffocare, ma favorire e aiutare, l'iniziativa e le idee dei singoli, che sono i motori primari della ricerca.

Senza dimenticare la raccolta e il trattamento e alla distribuzione dei dati...

Certamente... ATLAS registra ogni anno una quantità di dati che corrisponde a circa a una decina di petabyte: per ricostruire gli eventi molto complessi prodotti dalle collisioni dei fasci di protoni sono necessarie decine di migliaia di processori. La distribuzione, custodia e elaborazione dei dati si basa su una griglia di calcolo, la cosiddetta Grid, che consiste di circa 150 centri di calcolo in tutto il mondo, collegati da connessioni molto veloci. Questo è l'unico modo di fare ricerca a livello veramente globale, in progetti che coinvolgono scienziati di tutto il mondo e richiedono massicce operazioni di calcolo.

Quale spazio hanno i giovani nel progetto?

Danno un contributo fondamentale: basti pensare che su 3000 fisici, oltre 1000 sono studenti giovani preparatissimi ed entusiasti; si tratta di persone che vivono una grande avventura umana oltre che scientifica, poiché si trovano a lavorare con colleghi che provengono da ogni parte del mondo. Questi esperimenti sono un'importante scuola di vita, oltre che di scienza.

Secondo lei, si tratta di un modello riproducibile a livello nazionale, dove il mondo della ricerca è sempre in uno stato di sofferenza anche per il poco spazio lasciato ai giovani?

Premetto che l'Italia ha dato contributi tecnologici, scientifici e umani di primissimo piano a LHC, tramite l'Istituto nazionale di fisica nucleare. La nostra scuola di fisica delle particelle, basata su una lunga tradizione che risale a Fermi, Amaldi, Pontecorvo e tanti altri esimi scienziati, è ottima, e i nostri giovani sono tra i migliori al mondo. Il problema in Italia sono gli scarsi finanziamenti alla ricerca, che penalizzano soprattutto i giovani a causa principalmente di un precariato insostenibile. Il risultato è che molti emigrano all'estero, e quindi non solo contribuiscono allo sviluppo scientifico di altre nazioni invece che a quello dell'Italia, ma la loro partenza rischia anche di creare un *gap* generazionale in ambiti, come la fisica delle particelle, in cui vantiamo una forte tradizione.

di Letizia Gabaglio

Un robot in farmacia

Health Robotics, azienda di Bolzano, è leader mondiale nella progettazione e realizzazione di sistemi automatici nel campo della tecnologia medica ospedaliera

Una farmacia ospedaliera interamente digitale, grazie a cui i pazienti possano ricevere terapie e nutrizione per via endovenosa in maniera sicura. È l'ultima frontiera dell'ingegneria ospedaliera, l'obiettivo a cui sta lavorando Health Robotics, una *vision* futuristica che la piccola e innovativa realtà con sede a Bolzano sta realizzando passo dopo passo. Tutto inizia a metà del 2006, quando un gruppo di cinque ingegneri decide di unire le competenze maturate in decenni di lavoro nel campo della tecnologia medica per dare vita a un prodotto a cui nessuno ha ancora pensato: un robot in grado di maneggiare e mettere insieme in maniera sicura i farmaci per la chemioterapia.

«Un'idea così rivoluzionaria che l'Unione Europea decise di cofinanziare la validazione clinica della nostra tecnologia», racconta Gaspar DeViedma, vice presidente di Health Robotics responsabile vendite e marketing, uno dei fondatori dell'azienda insieme a Werner Rainer, Paolo Giribona, Fabio Fioravanti e Giusy Martelli. Il progetto – svolto nell'ambito del programma eTEN che sostiene proprio la validazione di prodotti innovativi considerati di alta rilevanza per l'intero mercato europeo – si chiamava SafeChemo e ha coinvolto *partner* inglesi, danesi, tedeschi e italiani e ha visto protagoniste tre strutture sanitarie di alto livello: l'Imperial College NHS Trust di Londra, il Rigshospitalet di Copenhagen e l'Ospedale di Bolzano.

CytoCare®, questo il nome del primo macchinario realizzato dall'azienda italiana, è una specie di sofisticato *dispenser* di terapia: grazie a un monitor esterno, l'operatore digita la richiesta, la macchina prepara e miscela i medicinali e consegna il prodotto finale. Un doppio sistema di controllo di tutte le operazioni permette di abbattere il rischio di errore nel dosaggio, di garantire sterilità e tracciabilità, e di prevenire incidenti per gli operatori sanitari che non sono più chiamati a maneggiare sostanze tossiche potenzialmente pericolose per la loro salute. «L'obiettivo era aumentare la sicurezza del paziente insieme a quella dei farmacisti ospedalieri in un campo, la cura del cancro, in cui la complessità delle terapie sta aumentando di anno in anno», continua DeViedma. Il valore innovativo del primo sistema robotizzato al mondo per la manipolazione dei farmaci antitumorali è stato riconosciuto anche dal governo italiano, che lo ha portato all'Expo 2010 di Shanghai.

LA SCHEDA

Health Robotics

Fatturato
8,8 milioni di euro

Dipendenti
36, di cui 16 in ricerca e sviluppo e in *quality management*

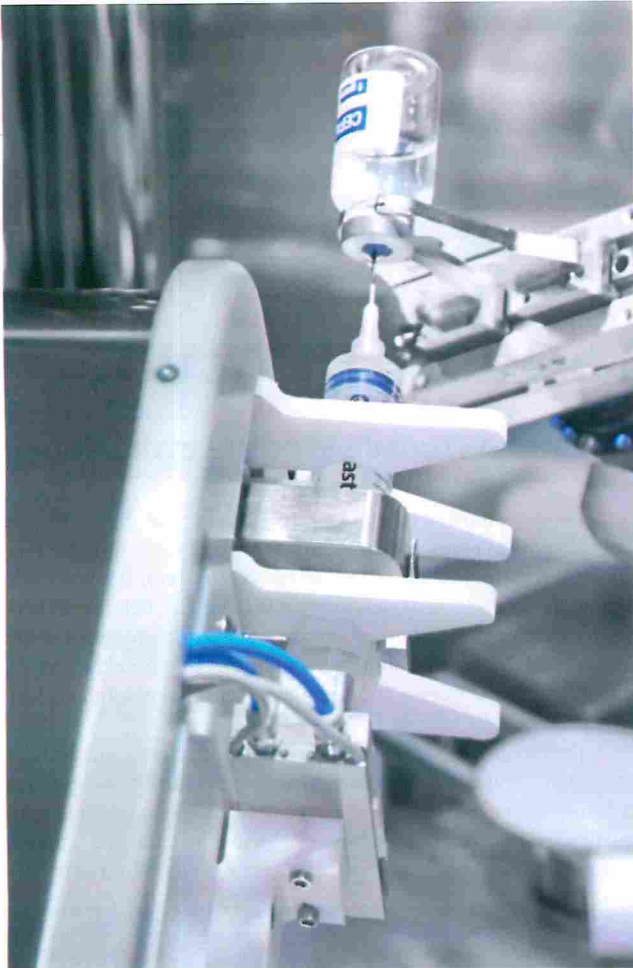
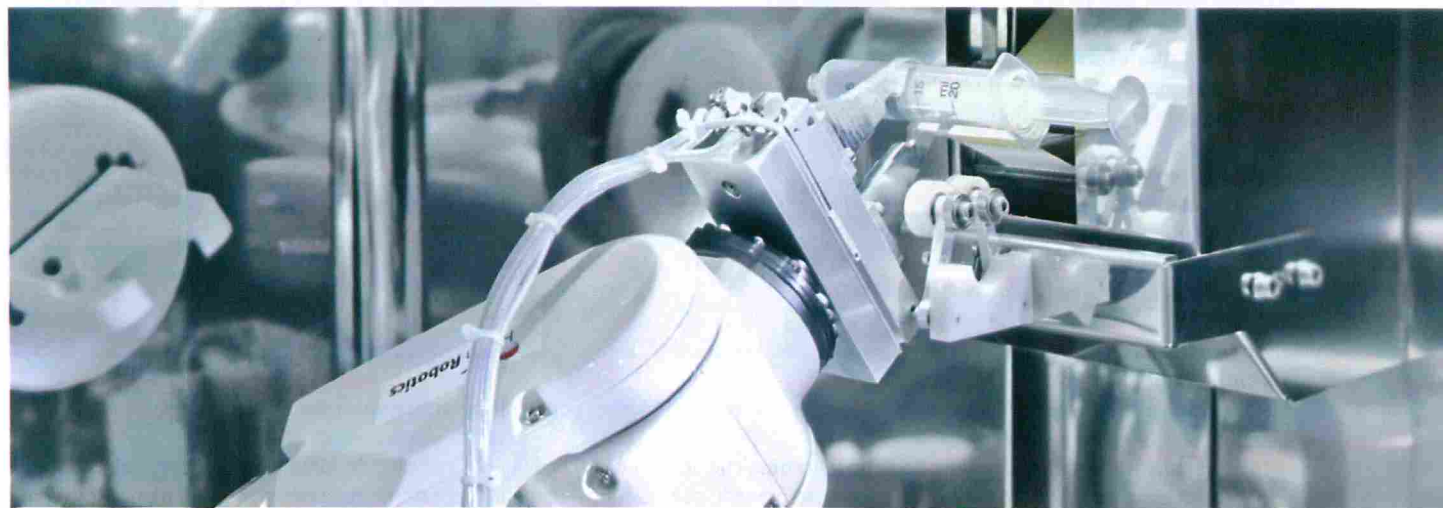
Investimenti in ricerca
12 per cento del fatturato

Brevetti rilasciati e domande depositate
43 in vari paesi

Cortesia Health Robotics (*tutte le foto*)

Dall'oncologia agli antibiotici (e oltre)

Ma CytoCare® è solo il primo passo verso la realizzazione della farmacia automatizzata. Il successo ottenuto ha spinto gli ingegneri visionari ad andare oltre l'oncologia e a realizzare in pochissimo tempo una seconda macchina, i.v.STATION®, adatta alla preparazione di numerosi tipi di medicinali da somministrare per via endovenosa, dagli antibiotici agli anestetici passando per i farmaci contro il dolore. Il sistema, lanciato sul mercato a inizio 2009, garantisce gli stessi standard di sicurezza di CytoCare®, gestisce diversi flussi di lavoro, evita la contaminazione fra le sostanze, smaltisce autonomamente i rifiuti. «L'esperienza maturata con la prima macchina ha consentito alla divisione ricerca e sviluppo di Health Robotics di sviluppare il secondo robot in un tempo relativamente breve», spiega DeViedma.

I problemi venuti al pettine e risolti in occasione dello sviluppo di CytoCare® – per esempio la gestione del flusso dei materiali a più alto rischio come aghi, siringhe, sacche sterili – hanno fatto

Farmacia automatizzata. La i.v.STATION® di Health Robotics permette di preparare e somministrare in modo automatico diversi farmaci, tra cui antibiotici, anestetici e medicinali contro il dolore.

sì che il lavoro non dovesse essere iniziato da capo. In più, l'essersi fatti conoscere con un prodotto tanto innovativo come quello per la chemioterapia ha consentito all'azienda altoatesina di stabilire *partnership* con realtà che hanno prodotto soluzioni appositamente per il nuovo progetto. Uno sforzo coordinato dalla divisione ricerca e sviluppo di Health Robotics, che ha sede nell'Area Science Park di Trieste, in cui lavora quasi la metà dei dipendenti dell'azienda.

«Per noi mantenere il lavoro di ricerca in Italia è fondamentale perché qui possiamo contare su persone veramente qualificate nella tecnologia medica», spiega DeViedma. D'altronde, la ricerca è il punto di forza di questa azienda che, grazie ai suoi prodotti, è riuscita ad arrivare in Giappone, Stati Uniti e Australia, oltre che in Europa. «Non abbiamo mai avuto *competitor*, perché abbiamo inventato qualcosa che prima sul mercato non c'era, ma viste le nostre dimensioni abbiamo avuto il problema della distribuzione», ammette il vice presidente. Problema risolto grazie alle relazioni che lo stesso DeViedma ha sviluppato in vent'anni di lavoro in questo settore. Risultato: prodotti dell'azienda di Bolzano sono arrivati nelle farmacie di tutto il mondo, con installazioni in oltre 160 ospedali, tra cui i due siti di eccellenza in Italia, il Campus Biomedico di Roma e l'Ospedale regionale San Maurizio di Bolzano.

Obiettivo: gestione totale dei processi

La prossima sfida sarà promuovere e vendere l'ultimo dei gioielli dell'automazione ospedaliera uscito dai laboratori di Health Robotics: TPNstation™, un robot che prepara le soluzioni per la nutrizione parenterale. Così da soddisfare le esigenze di tutti quei pazienti che non possono essere alimentati per bocca e che quindi devono ricevere sali minerali, liquidi, vitamine e zuccheri per via venosa. Ma The i.v.Room of the Future non potrebbe realizzarsi se non con l'aiuto di programmi di gestione e archiviazione delle informazioni che riguardano ogni singolo paziente.

«Per questo, parallelamente al lavoro sui robot, la nostra azienda ha sviluppato software per la preparazione dei medicinali e per la gestione delle cartelle cliniche digitali», conclude DeViedma. Si tratta di i.v.SOFT®, il programma che aiuta gli operatori sanitari a comporre le terapie, e di MEDarchiver®, una piattaforma per la gestione del flusso di lavoro di unità operative complesse. Uno dei figli di quest'ultima architettura software è OMM (Oncology Medication Management), un sistema che gestisce l'intero processo di trattamento oncologico. Ecco allora che, mettendo insieme quello che ha fatto dal 2006 a oggi, Health Robotics ha deciso di portare sul mercato la sua idea di farmacia Patient-Aware, All-Digital. Un progetto per rendere automatizzate e sicure la preparazione e la somministrazione di medicinali per via endovenosa per tutti i pazienti di un ospedale, e non solo per quelli in sala operatoria o nelle unità di rianimazione, dove già la maggior parte dei processi è gestita da macchine.

di Telmo Pievani
professore associato di filosofia della scienza
all'Università degli Studi di Milano-Bicocca

Quale futuro per la specie umana?

L'avanzamento delle tecnologie influenzerà in modo cruciale la nostra evoluzione

Per alcuni parlare del futuro significa tuffarsi in una fantascienza un po' ansiogena. Per altri, la maggioranza, è un'attrazione irresistibile. Tutti gli evoluzionisti sanno che al termine di una conferenza non mancherà mai una domanda sul futuro della specie umana: bene, questo è successo nei nostri primi 200.000 anni, ma quale futuro ci attende? Nell'approssimarsi di una nuova inesistente data apocalittica, le riviste sono colme di futurologia e se nel titolo di un libro compare «2012» le vendite lievitano.

Di per sé l'ambizione è ragionevole: fa parte dell'intelligenza umana tentare di predire le mosse degli altri, calcolare gli effetti delle nostre azioni, scandagliare insomma le dinamiche di ciò che ancora non è. L'esercizio tuttavia è pericoloso, perché si può scivolare dalla congettura argomentata all'azzardo visionario. La predizione rischiosa di uno scienziato, basata su dati e inferenze, non ha nulla a che vedere con una profezia. Elaborare modelli che individuino tendenze in atto, proiettandole poi con accortezza sul futuro, è diverso dal fissare date precise per epocali eventi che ci attenderebbero, quasi fossero come il ritorno di una cometa.

Per esempio, è proprio vero che la nostra vetusta evoluzione biologica si sta esaurendo e verrà presto sostituita da una tumultuosa rivoluzione tecnologica permanente? Il geniale inventore e innovatore americano Ray Kurzweil non ha dubbi al riguardo ed è convinto che fra 25 anni una «singolarità» farà voltare pagina all'umanità, quando *Homo sapiens* saprà alla fine «trascendere» la propria biologia e riprodurre la sua intelligenza in un supercomputer. Rovesciando il vecchio incubo antievoluzionista di Samuel Butler sulla cospirazione delle macchine che decidono di fare a meno dei loro creatori, lo scenario prevede che le intelligenze non biologiche eguaglieranno e supereranno quelle umane, le quali tuttavia le ingloberanno sotto forma di nanorobot e di chip innestati nei cervelli, fino alla completa fusione progettuale di naturale e artificiale. Una grande rete computazionale unirà cervelli, corpi e ambiente, al punto che problemi globali come inquinamento e povertà, nonché l'invecchiamento, saranno risolti per via informatica, e potremo mescolare i nostri sensi e piaceri in mondi virtuali promiscui.

L'ipotesi, in sostanza, è che l'avanzamento delle tecnologie procederà ancora in modo accelerato e non lineare, esponendo l'umanità a sfide cognitive ed emotive del tutto inedite. Nella Silicon Valley è nata persino una Singularity University, per formare i leader del progresso e gli esperti di convivenza con le macchine. Nel 2025, secondo Kurzweil avremo un modello dell'intero cervello umano connessione per connessione, ciascuno potrà avere una copia di *backup* del proprio e comunicare direttamente con altri cervelli. Se poi questo sarà sempre un bene, lo lasciamo decidere ai posteri...

Affinché tutto ciò si realizzi occorre sperare che alcuni dettagli marginali – come le concentrazioni di potere, i conflitti geopolitici, le disuguaglianze sociali, la finitezza delle risorse ambientali (e di quelle razionali) – non esercitino troppo la loro influenza. Eppure, è proprio questa insofferenza per i limiti che ci ha portato ogni volta al di là della collina. Difficile farne a meno. Gli esercizi di previsione dettagliata del futuro sembrano però avere paradossalmente qualcosa in comune con le concezioni finalistiche della storia: l'ansia recondita che scaturisce dalla consapevolezza della radicale contingenza degli accadimenti storici e naturali.

Dobbiamo trovare una logica al passato e imporla al futuro. Ma se ciò che è già stato poteva andare diversamente, se in innumerevoli occasioni un singolo evento ha deviato la locomotiva della storia, se spesso abbiamo raggiunto un certo risultato mentre cercavamo tutt'altro, a maggior ragione il futuro è aperto e imprevedibile. È umano che gli si voglia mettere le briglie, perché ci fa sentire piccoli e provvisori.

Homo sapiens 2.0. In futuro, potremmo assistere a una fusione totale tra uomo e macchine.

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

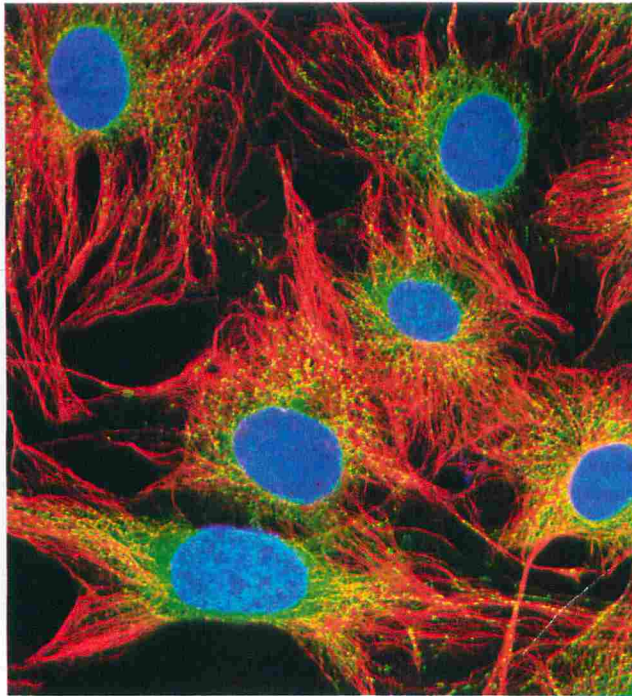
Dalla pelle al cuore

Un esperimento ha dimostrato come ottenere cellule del sangue da quelle della pelle

I fibroblasti, cellule della pelle messe in coltura, sono da tempo protagonisti della ricerca biologica più avanzata. Con opportuni trattamenti possono trasformarsi in cellule staminali pluripotenti, cioè iPS (*induced pluripotent stem cell*), capaci di comportarsi come autentiche cellule staminali embrionali, con cui produrre cellule differenziate appartenenti a questo o a quel tessuto. Molto di recente si è visto che con un altro, simile trattamento i fibroblasti possono trasformarsi direttamente in precursori delle cellule del sangue (si veda Szabo E. e colleghi, in «Nature», Vol. 468, pp. 521-526), aprendo la strada alle autotrasfusioni di domani.

Per modificare in profondità la struttura e le funzioni di una cellula occorre sconvolgere il suo piano di programmazione genetica: spegnere molti geni che erano accesi e accenderne altri che erano spenti. Lo si può fare modificando veri e propri interruttori molecolari della cellula, cioè proteine residenti nel nucleo cellulare che dopo essersi legate a una specifica sequenza di DNA del gene bersaglio decidono se deve essere acceso o spento. Questi interruttori molecolari, detti anche fattori di trascrizione o di controllo, sono a loro volta codificati da altri geni che hanno il potere di assumere il comando di tutte le operazioni che avvengono nelle cellule.

Molti di questi geni di alto livello gerarchico sono noti da tempo e prendono genericamente il nome di geni master, o *master control gene*. Sono raggruppati in un certo numero di famiglie geniche, la cui esistenza ci aiuta a tenere un certo ordine nella rete di regolazioni e controregolazioni geniche. In genere sono raggruppati sulla base della specifica sequenza di DNA a cui si legano. Una di queste famiglie prende il nome di famiglia *OCT* ed è nota ai biologi dello sviluppo da oltre trent'anni. Molte di queste famiglie sono state individuate attraverso lo studio dello sviluppo embrionale di varie specie, dai moscerini dell'aceto al topo e all'uomo, ma si sono poi rivelate attive anche durante tutta la vita degli organismi in questione e hanno la proprietà di figurare praticamente identiche in tutti gli animali superiori.

Un gene di questi, *OCT4*, è stato molto studiato negli embrioni di topo e di altre specie, e insieme ad altri tre geni è alla base della produzione di cellule staminali indotte di tipo iPS partendo da fibroblasti adulti. Successivamente si è visto che poteva essere attivo anche in cellule umane adulte, in particolare in quelle del sangue. L'idea è stata allora quella di cercare di passare direttamente dai fibroblasti alle cellule del sangue, senza passare per l'intermedio rappresentato dalle iPS, ed è quello che hanno fatto, direttamente nell'uomo, gli autori dell'articolo citato.

Protagonisti della ricerca.
I fibroblasti, qui ripresi con un microscopio confocale, sono protagonisti della ricerca biologica che promette applicazioni avanzate.

Dr. Gopal Murti/SPL/Contrasto

Se è vero che così operando si perdono tutte le altre opportunità offerte dall'uso terapeutico delle iPS, è anche vero che con questo metodo si accorciano drasticamente i tempi per la produzione di sangue direttamente dai fibroblasti di un individuo. Se l'individuo è lo stesso che deve ricevere la trasfusione, o un suo parente stretto, si avrà il vantaggio aggiuntivo che il sangue così ottenuto sarà il più adatto per la trasfusione, che sarà essenzialmente un'autotrasfusione.

Trattando con *OCT4* i fibroblasti adulti si osservano profonde trasformazioni che li portano a esprimere invariabilmente un cosiddetto marcatore di superficie, CD45, che caratterizza le cellule progenitrici di un gran numero di cellule del sangue, e dalle cellule così ottenute è stato possibile ricavare, con opportuni trattamenti aggiuntivi, globuli rossi, linfociti e piastrine, cioè tutte le diverse componenti cellulari del nostro sangue.

Si sono così raggiunti due scopi fondamentali: si è dimostrato che si possono usare fibroblasti adulti per produrre molti tipi di cellule differenziate, forse senza passare attraverso la loro conversione in cellule iPS, e si è imparato come produrre il sangue artificiale, un obiettivo più volte perseguito ma mai centrato prima d'ora. Come dire che si è riusciti ad andare, se vogliamo prendere a prestito il titolo di una canzone di Antonello Venditti, *Dalla pelle al cuore*.

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Due terzi attraverso i millenni

Storia di un rapporto tra numeri interi protagonista della matematica. E non solo…

Nella loro beata ingenuità, i pitagorici ritenevano che per qualunque coppia di grandezze omogenee si potesse trovare una loro unità di misura comune, che stesse un numero esatto di volte in ciascuna di esse. Ne derivava che ogni coppia di grandezze omogenee era commensurabile, e che il loro rapporto di omogeneità si poteva ridurre a un rapporto di numeri interi: cioè, a un numero razionale. Da cui il motto «tutto è numero razionale», che abbreviato diventava «tutto è numero» da un lato, e «tutto è razionale» dall'altro.

Non ci volle molto perché i pitagorici stessi si accorgessero che le cose non erano affatto così semplici. Esistevano infatti coppie di grandezze omogenee fra loro incommensurabili: per esempio la diagonale e il lato del quadrato, o la diagonale e il lato del pentagono regolare. E nel 1874 Georg Cantor dimostrò che in realtà le coppie di grandezze commensurabili sono molte meno di quelle incommensurabili, nel senso che l'infinito dei numeri razionali è molto più piccolo dell'infinito dei numeri reali irrazionali.

Con il senno di poi, dunque, non ci si può stupire che i Pitagorici abbiano scoperto grandezze incommensurabili. Semmai, al contrario, ci si deve stupire che siano riusciti a trovare esempi significativi e non banali di grandezze commensurabili. Uno di questi esempi fu, nella musica, il fondamentale rapporto armonico di quinta: per esempio tra un *do* e il *sol* successivo. E la scoperta di Pitagora fu che lo si poteva ridurre al rapporto numerico di 2/3, nel senso che se una corda di una data lunghezza produce un dato suono, allora due terzi della stessa corda ne producono uno che sta una quinta sopra.

Sorprendentemente, lo stesso rapporto di 2/3 riapparve qualche secolo dopo, in tre diversi risultati di Archimede. A uno abbiamo già dedicato la rubrica di giugno 2010, raccontando come il grande matematico fosse riuscito a dimostrare che il cosiddetto bicilindro, che prende il nome dal fatto di essere l'intersezione di due cilindri uguali incastrati perpendicolarmente l'uno all'altro, ha un volume pari a due terzi di quello del cubo che lo contiene.

La sorpresa sta nel fatto che il bicilindro è un solido curvilineo, mentre il cubo è un solido rettilineo: il risultato di Archimede è dunque una vera e propria «cubatura», analoga alla quadratura di una figura rettilinea piana. Per esempio, a quella del segmento di una parabola, ottenuta dallo stesso Archimede. Se si prende infatti una parabola, l'area individuata dal segmento unitario è pari a due terzi di quella del rettangolo che lo contiene.

Non è invece una vera cubatura il più famoso risultato di Archimede, che lui stesso volle fosse inciso sulla propria tomba. Cosa che sembra fu fatta, perché Cicerone racconta nelle *Tusculanae disputationes* di essere andato in Sicilia come console nel 75 a.C., e di aver trovato la lapide. Oggi purtroppo è andata perduta, ma il risultato è inciso sul retro della medaglia Fields, che onora gli eredi moderni di Archimede.

Si tratta del doppio rapporto di 2/3 fra i volumi e le superfici di due solidi curvilinei: la sfera e il cilindro che la contiene. Lo stesso rapporto sussiste anche fra le superfici del bicilindro e del cubo, ma fu trovato solo un secolo fa da Charles Steinmetz: per questo, oggi il bicilindro viene anche chiamato solido di Steinmetz.

Ci vollero dunque più di due millenni per completare il risultato di Archimede, e pochi meno ce ne vollero per completare anche quello di Pitagora. Questa volta fu Keplero a farlo, nel 1619, enunciando nell'*Armonia del mondo* la sua terza legge: il rapporto fra il quadrato dell'anno planetario e il cubo della distanza media tra un pianeta e il Sole è lo stesso per tutti i pianeti. Riappare così miracolosamente, a esponente, il rapporto numerico di 2/3 che individua il rapporto armonico di una quinta.

Come Terra e Sole. Il rapporto 2/3 compare nella terza legge di Keplero, per cui i quadrati dei tempi impegnati dai pianeti a percorrere le orbite sono proporzionali ai cubi delle distanze medie (semiassi maggiori delle ellissi) dal Sole.

NASA

E la cosa non è casuale, almeno per quanto riguarda la genesi del risultato. Keplero sapeva che il rapporto fra l'anno planetario e il raggio medio era più che lineare, e meno che quadratico. E poiché i due esponenti 1 e 1/2 corrispondevano, nella teoria pitagorica, all'unisono e all'ottava, decise che la soluzione era l'intervallo più naturale fra i due: cioè una quinta. Ancora una volta si trovò il rapporto numerico di 2/3, come negli altri esempi che abbiamo riportato: sei in tutto, ovviamente, perché tanto fa 2 per 3.

di Roberto Battiston
Professore ordinario di fisica sperimentale all'Università di Perugia
www.robertobattiston.it

Dalla polvere alle stelle e ritorno

L'evoluzione dell'universo attraverso gli «occhi» dei satelliti Herschel e Planck

L'universo risplende in tutti i colori della luce, dalle onde radio ai raggi gamma. Ma per le prime centinaia di migliaia di anni dalla comparsa di *Homo sapiens*, per essere precisi fino agli anni trenta del Novecento, gli unici colori in cui si è manifestato all'uomo sono quelli della luce visibile, il piccolissimo intervallo di frequenze che va dal violetto al rosso, da 380 a 750 nanometri. Fino a poco tempo fa il resto dei suoi colori fa non era osservabile, a causa dei fattori limitanti relativi al sensore (i nostri occhi) e al filtro posto tra noi e la sorgente (l'atmosfera).

Lo sviluppo di nuovi sensori e l'apertura delle finestre osservative legate alla sperimentazione da satellite hanno permesso di allargare enormemente il campo di osservazione, rivoluzionando la nostra comprensione di come le varie parti dell'universo evolvono e si trasformano nel tempo. Gli ultimi occhi che abbiamo aperto sull'universo sono quelli dei due supersatelliti ESA Herschel e Planck, lanciati assieme più di un anno fa verso un punto tra la Terra e il Sole, che da allora forniscono una messe di dati di altissima qualità.

Herschel è il più grande telescopio spaziale operante nell'infrarosso, in grado di studiare l'emissione termica di corpi relativamente freddi, come la polvere interstellare o i corpi che si formano all'interno degli ammassi di polveri in cui, letteralmente, nascono le stelle. Planck invece studia frequenze della luce corrispondenti a temperature ancora più basse: il suo obiettivo principale è fornire una misura ultraprecisa della struttura del fondo di radiazione cosmica, l'eco del big bang corrispondente a radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda dell'ordine dei millimetri emessa da un corpo nero a 2,7 kelvin.

Ma non è solo il big bang la sorgente di questa radiazione fredda. Ce ne sono molte altre, come per esempio le nubi di gas molecolare oppure le finissime polveri che riempiono gli spazi interstellari o intergalattici. Polveri formate da particelle di scala nanometrica che, come appena scoperto da Planck, ruotando miliardi di volte al secondo diffondono la radiazione di corpo nero un po' come le gocce di nebbia diffondono la luce dei fari delle auto. Queste sorgenti generano un contributo di radiazione che si interpone tra noi e la radiazione cosmica di fondo; in quanto tale, esso deve essere accuratamente misurato e sottratto. Misurando questi effetti Planck sta fornendo l'immagine più accurata mai realizzata delle parti più fredde dell'universo, identificando le strutture primordiali da cui nasceranno le stelle.

Come è polveroso il nostro vecchio universo! Dopo il big bang è stato necessario aspettare circa 300.000 anni per avere a disposizione i primi atomi neutri. A quel punto la parola è passata alle forze gravitazionali, che hanno iniziato ad accumulare gruppi sempre più grandi di atomi fino a raggiungere la massa delle stelle. Quando le stelle si accendono a causa dei processi di fusione dell'idrogeno inizia un titanico braccio di ferro tra la gravità e le forze nucleari. Il flusso di energia derivante dalle reazioni di fusione si oppone al collasso gravitazionale della stella, ma quando il carburante nucleare finisce il nucleo della stella implode, generando un buco nero o una stella di neutroni, mentre il resto esplode violentemente riempiendo di polvere e gas lo spazio circostante. Polvere e gas che ora sono composti da atomi più pesanti di quelli che formavano la stella alla sua nascita.

Nascita cosmica. Formazione di nuove stelle nella nebulosa Carina.

NASA/ESA/N. Smith (Università della California a Berkeley), e Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Dopo l'esplosione ricomincia a sentirsi l'effetto attrattivo della gravità. A ogni ciclo si formano stelle composte da componenti sempre più pesanti e quindi in grado di produrre, via fusione, elementi ancora più pesanti. A un certo punto di questo ciclo, nella galassia in cui ci troviamo sono esplose una o più stelle che hanno reso disponibili tutti gli elementi di cui sono composti il sistema solare e la Terra. Siamo proprio figli delle stelle.

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Quando siamo diventati carnivori?

Due studi hanno riaperto il dibattito su un passaggio cruciale della nostra evoluzione

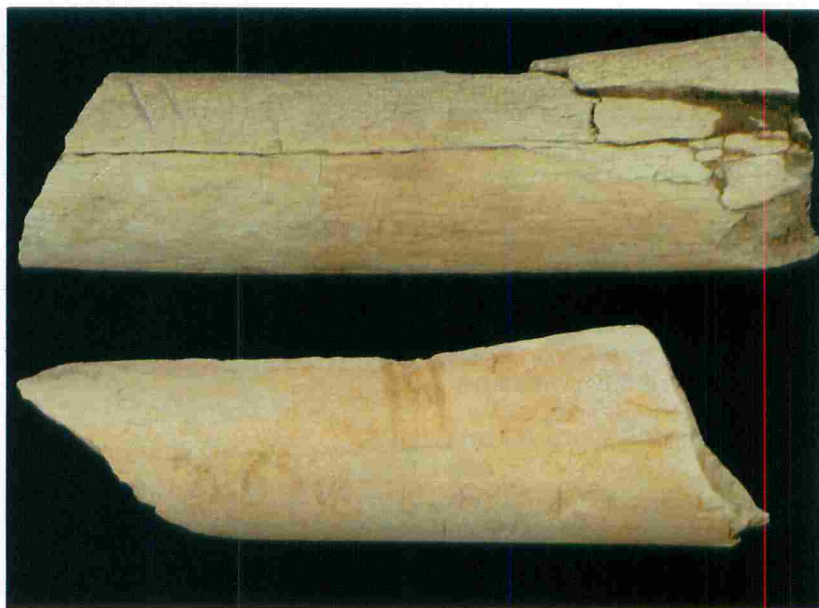
Ogni promessa è debito. Nella rubrica dello scorso mese abbiamo parlato di Melka Kunture, in Etiopia, e dei manufatti preistorici di 1,7 milioni di anni fa che si trovano in quell'area. Abbiamo detto anche che manufatti ancora più antichi, quasi un milione di anni di più, si trovano a Gona, sempre in Etiopia, seguendo il corso del fiume Awash oltre 300 chilometri a nord-est di Addis Abeba. La loro scoperta è stata annunciata nel 1997, e hanno rappresentato la più remota prova al mondo di nostri antenati come *toolmaker*, produttori di strumenti paleolitici. Molti pensano che l'artefice sia una specie primordiale di *Homo* e la chiamano *Homo habilis*. La data è 2,6 milioni di anni dal presente.

Non sembri che questa data sia importante solo perché è molto antica. C'è di più. Essa coincide con un fenomeno paleoambientale che riteniamo di portata cruciale per l'evoluzione umana.

Il cambiamento climatico su scala mondiale che verso i tre milioni di anni fa si riverberò con particolari modalità in Africa orientale, a est della Rift Valley, spinse in savana ominidi già bipedi, condizionandoli a evolvere strategie di approvvigionamento e consumo di alimenti insoliti per la scimmia che eravamo stati. La produzione di manufatti si sarebbe così affiancata a un significativo incremento nel consumo di carne da parte dei primi *Homo*. Le proteine animali, cibo nobile ottenuto dallo sfruttamento delle carcasse di grandi erbivori, avrebbero rappresentato una precondizione per lo sviluppo di un tessuto altrettanto nobile: quello del nostro sistema nervoso.

Due milioni e mezzo di anni fa (o giù di lì) sarebbe dunque iniziato un processo a cascata, che avrebbe prodotto: l'esordio del Paleolitico; l'inizio del fenomeno che chiamiamo «encefalizzazione»; una nuova posizione ecologica degli ominidi; il loro notevole successo adattativo e demografico; la tendenza a diffondersi e a colonizzare nuovi contesti ambientali in Africa e in Eurasia. Insomma, e scusate se è poco, avrebbe portato alla comparsa del genere *Homo* e di alcune nostre proprietà fondamentali.

Ma potrebbe non essere vero. Almeno, non del tutto. Proprio l'estate scorsa, un articolo pubblicato da «Nature» il 12 agosto ha anticipato di quasi un milione di anni questa facoltà tutta umana, sulla base di prove raccolte nell'area del Dikika Research Project, sempre sulle rive dell'Awash, in Etiopia. In questo caso non ci sono manufatti, ma tracce dell'uso di manufatti rimaste impresse sulle carcasse di due grandi erbivori. La cosa sorprendente è che la data indica circa 3,4 milioni di anni dal presente, quando non c'era nessun *Homo* in Africa orientale, ma una specie del genere *Australopithecus*: quella della celeberrima Lucy, *Australopithecus afarensis*. I manufatti non si sarebbero trovati perché tanto semplici da essere archeologicamente... invisibili.

Bisogna allora concludere che prima di qualunque forma umana anche le australopitecine facevano strumenti e, soprattutto, si cibavano di carcasse di animali? Non sarebbe un fatto da poco. Come abbiamo visto, sulla produzione di manufatti e sulla «svolta carnivora» dei nostri antenati abbiamo costruito importanti teorie sulle nostre origini. Dovremmo riconsiderare tutto ciò? Nulla di male, d'altra parte: la scienza è fatta così. E questa è proprio la sua forza.

Prove della discordia. Le ossa animali scoperte a Dikika che per alcuni ricercatori presenterebbero segni causati da strumenti litici usati da australopitecine.

Dikika Research Project

Ma, appunto, se la scienza si basa sul controllo delle prove disponibili, qualcuno prontamente è andato a verificare. La ricerca è stata pubblicata di recente sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», e ha mostrato che quelle presunte tracce di 3,4 milioni di anni fa non sarebbero segni di taglio ottenuti con strumenti paleolitici, ma più probabilmente sarebbero incisioni dovute a sfregamento per calpestio su granelli di sedimento, o *trampling*. Forse il «modello *Homo*» regge. Almeno fino alla prossima scoperta.

I libri Galápagos – La scienza *pop*

Il primo manuale di bricolage matematico, per realizzare giochi, set di costruzioni, decorazioni, rompicapi e tanti oggetti, belli da guardare e facilissimi da fare. Bastano semplici cose: carta, forbici, colori...

«Chi voglia mettere in pratica alcune tra le più interessanti intuizioni della geometria (come gruppi di simmetria rotazionale che si trasformano in fiori di carta) può farlo insieme al giovane matematico Ghattas». ***il Venerdì di Repubblica***

Bricologica
Trenta oggetti matematici da costruire con le mani
160 pagine • 20,00 euro

Navi scomparse nel Triangolo delle Bermuda, cerchi nel grano, rapimenti alieni, rabdomanzia, astrologia: volete scoprire cosa c'è sotto a simili pratiche ed eventi misteriosi? Questo libro vi introdurrà al metodo scientifico in sei lezioni piene di verve.

«Gli autori non pensano a demolire "misteri". Vogliono fornire ai lettori una chiave per affrontarli e risolverli da sé insegnando loro le regole dell'indagine». ***La Stampa***

Sulla scena del mistero
Guida scientifica all'indagine dei fenomeni inspiegabili
208 pagine • 17,00 euro

Dall'amore dell'uomo per creature meravigliose e innocue come le farfalle derivano conoscenze scientifiche e crimini sconcertanti. Abituato a narrare di guerra o di politica, l'autore racconta di habitat protetti spazzati via, traffici illeciti, controversie tra allevatori, scienziati e polizia forestale...

«Dipanare questo bozzolo e seguirne il filo diventa per Laufer come per Marlow in Cuore di tenebra risalire il fiume alla ricerca di Kurtz». ***la Repubblica***

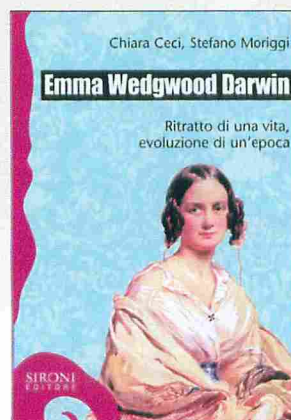
La battaglia delle farfalle
Reportage sulla creatura più fragile del pianeta tra criminali, scienziati e collezionisti
272 pagine • 19,00 euro

In stile brillante e ironico, un invito a scoprire le strutture nascoste in opere d'arte, edifici e semplici oggetti: le geometrie non euclidee nelle opere di Escher, le proprietà topologiche di una località sciistica, i criteri geometrici per riconoscere il miglior passeggino...

Insalate di matematica 3
Sette variazioni su arte, design e architettura
224 pagine • 16,00 euro

«Un gustoso spizzicar di numeri e di forme». ***Le Scienze***

PROSSIME USCITE

Sposare gli elementi
Breve storia della chimica

Emma Wedgwood Darwin
Ritratto di una vita, evoluzione di un'epoca

Per la scienza, per la patria
Carlo Matteucci, fisico e politico del Risorgimento italiano

La fisica della domenica
Brevi escursioni nei quattro elementi

SIRONI EDITORE

MEDICINA

Haiti: il colera è arrivato da oriente

Uno studio dimostra che il batterio responsabile dell'epidemia è di origine asiatica

Soccorsi contagiosi. Una delle numerose proteste contro la missione ONU ad Haiti (MINUSTAH), ritenuta responsabile dell'epidemia di colera. La scritta in creolo sul cartello recita: «MINUSTAH e colera sono gemelli».

Emilio Morenatti/AP Photo/LaPresse

Ad Haiti, flagellata nel corso della sua storia da uragani, invasioni, schiavismo, guerre civili e terremoti, mancava solo il colera. Dalla fine di ottobre 2010, la nazione caraibica può aggiungere anche questa disgrazia alla lunga lista delle sue sfortune. Ma, come ha dimostrato una recente ricerca, stavolta non sarebbe stata una fatalità, ma il frutto della disattenzione di soccorritori arrivati sull'isola dopo il sisma del gennaio 2010.

Il colera ha cominciato a diffondersi nella città di Mirebalais il 20 ottobre 2010 e secondo l'Organizzazione mondiale della Sanità ai primi di gennaio 2011 aveva colpito 171.300 persone, con 95.039 ricoverati e 3651 decessi. I modelli statistici indicano che l'epidemia dovrebbe durare almeno un altro anno, colpendo in tutto 400.000 persone. Già prima del terremoto, ad Haiti solo il 12 percento della popolazione aveva accesso ad acqua potabile e con la devastazione portata dal sisma tutto è diventato ancora più difficile. Per esempio, come ha denunciato Medecins Sans Frontieres, ancora a novembre la grande baraccopoli di Cité Soleil, nell'area urbana della capitale haitiana Port-au-Prince, non era rifornita con acqua trattata con cloro, e gli abitanti erano costretti a usare quella del fiume, potenzialmente infetta.

All'apparire dell'epidemia, molti haitiani hanno accusato le truppe ONU arrivate dal Nepal di aver portato il contagio nell'isola. Solo ingratitudine e ignoranza? Non proprio. In effetti i caschi blu nepalesi, partiti mentre a Kathmandu si registravano casi di colera, si era insediato a Mirebalais ai primi di ottobre, scaricando le acque nere dell'accampamento nel fiume Artibonite, lungo il quale si sono registrati i primi casi. Le Nazioni Unite hanno risposto alle accuse mostrando analisi delle acque del fiume negative per il batterio responsabile del colera (*Vibrio cholerae*), anche se, come è noto, individuare questo microrganismo in acque correnti non è facile.

A risolvere la disputa è stata la prima analisi genetica del *Vibrio cholerae* di Haiti, realizzata dal gruppo di Matthew Waldor dello Howard Hughes Medical Institute della Harvard University, pubblicata sul «New England Journal of Medicine». Waldor e colleghi hanno dimostrato che la tossina prodotta dal batterio haitiano è molto simile a quella del ceppo presente in Nepal e Asia meridionale, mentre differisce per tre amminoacidi da quella del vibrione del Perù, il ceppo endemico più vicino all'isola. Ad Haiti è in azione una variante del «ceppo V», quello con i più alti tassi di mortalità.

«La conclusione – ha affermato Waldor – è che l'epidemia di colera di Haiti probabilmente è stata causata da un ceppo introdotto dall'Asia meridionale, e non da uno arrivato dal Sud America». Eliminare il vibrione adesso sarà molto difficile, la speranza è che quanto accaduto serva a pianificare meglio le future operazioni di soccorso.

Alex Saragosa

ASTRONOMIA

Un asteroide, tanti meteoriti

Pubblicati i risultati delle analisi sui frammenti dell'asteroide 2008 TC3

NASA Ames Research Center /SETI /Peter Jenniskens

Il 7 ottobre 2008 l'asteroide 2008 TC3, scoperto poche ore prima dell'impatto con la Terra da un telescopio della Catalina Sky Survey a Tucson, in Arizona, è entrato nell'atmosfera terrestre, esplodendo in centinaia di pezzi. Era la prima volta nella storia dell'astronomia che un asteroide veniva scoperto prima di collidere con il nostro pianeta. I frammenti arrivati al suolo (*foto*) si sono sparsi in una vasta area del deserto di Nubia, nel nord del Sudan, rendendo necessari diversi mesi di ricerche per raccogliere circa 600 meteoriti, con un peso totale di circa dieci chilogrammi (prima dell'ingresso in atmosfera l'asteroide aveva un diametro di circa quattro metri e una massa di poco inferiore a 60 tonnellate). Ora, dopo due anni di lavoro su questi frammenti, diversi gruppi hanno prodotto importanti risultati, raccolti in 20 articoli pubblicati su «Meteoritics and Planetary Science».

Particolarmente significativo è il fatto che, nonostante abbiano una comune origine, i campioni raccolti sono stati classificati sotto dieci tipologie diverse di meteoriti, in base alle percentuali relative di isotopi di ossigeno individuate. In alcuni frammenti un gruppo di chimici della Stanford University ha scoperto molecole organiche complesse come gli idrocarburi policiclici aromatici, mentre un altro gruppo del Goddard Space Flight Center della NASA ha scoperto amminoacidi, i «mattoni» della vita, all'interno di frammenti in cui le temperature raggiunte avrebbero dovuto distruggerli.

La maggior parte dei campioni è stata classificata come urelite, uno dei tipi più rari di meteorite. Solo l'uno per cento delle meteoriti conosciute è di questo tipo, e i ricercatori ritengono che abbiano un unico progenitore, chiamato *ureilite parent body*, un piccolo corpo planetario scomparso 4,5 miliardi di anni fa a causa di un impatto catastrofico, i cui frammenti si sarebbero poi dispersi in varie regioni del sistema solare. Dopo una lunga storia di collisioni, alcuni di questi frammenti avrebbero appunto costituito l'asteroide 2008 TC3, con il relativo il bagaglio di amminoacidi, probabilmente sintetizzati nel corso delle prime fasi evolutive del nostro sistema planetario. Ma sulle modalità di formazione dei mattoni della vita sono al vaglio anche altre ipotesi.

Emiliano Ricci

Stelle nascenti di galassie primordiali

Tre miliardi di anni dopo il big bang, nelle galassie primordiali si verificarono episodi di intensa formazione stellare. Lo dimostrano osservazioni del telescopio spaziale Herschel dell'Agenzia spaziale europea – che osserva l'universo nell'infrarosso e nelle lunghezze d'onda submillimetriche – come descritto in un articolo pubblicato su «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society» da un gruppo internazionale di astronomi (fra cui alcuni italiani dell'Università di Padova) guidato da Scott Chapman, dell'Università di Cambridge. In particolare, le osservazioni evidenziano un tasso di formazione stellare molto maggiore rispetto a quanto ipotizzato fino a oggi. Inoltre, queste galassie hanno grandi riserve di gas, in grado di alimentare il processo di formazione stellare per centinaia di milioni di anni. Questa nuova popolazione di galassie è debolissima nel visibile, ma estremamente luminosa nell'infrarosso, perché le stelle in formazione sono ancora avvolte dalle nubi di gas e polveri da cui stanno nascendo. Per le sue caratteristiche, il telescopio spaziale Herschel è il primo in grado di osservare queste galassie alle lunghezze d'onda in cui hanno il massimo di emissione e di confermare che questa emissione è proprio collegata alla nascita di nuove stelle. Ulteriori osservazioni permetteranno di comprendere l'evoluzione successiva delle galassie, una volta esaurito il processo di formazione stellare.

Emiliano Ricci

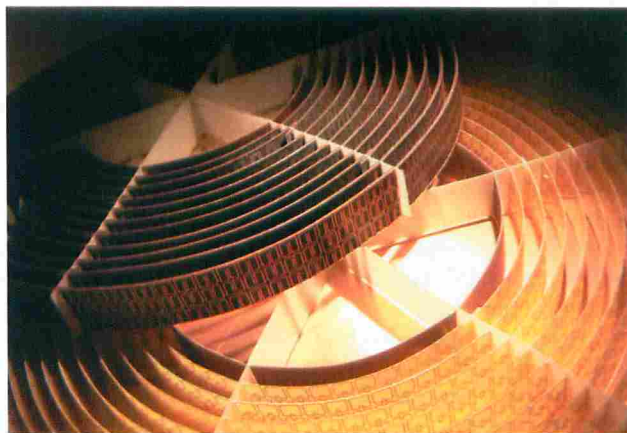
FISICA DEI MATERIALI

Ricetta per attraversare i muri

Reso invisibile un varco tra piccole pareti grazie ai metamateriali

La possibilità di rendere gli oggetti invisibili sta prendendo sempre più piede, grazie alla fabbricazione di particolari materiali chiamati «metamateriali» (*foto*). Ora, un lavoro pubblicato su «Physical Review Letters» ha sfruttato i metamateriali per ottenere l'effetto complementare dell'invisibilità: fare apparire un oggetto dove in realtà non c'è. In particolare, gli autori sono riusciti a nascondere un'apertura in una parete, creando un effetto per cui il muro continua dove in realtà c'è un varco. Lo scenario descritto dallo studio è simile alle porte invisibili che popolano la fantascienza, ma queste applicazioni spettacolari sono ancora molto lontane. Per il momento, l'effetto si ottiene in un modello a scala ridotta e, soprattutto, con frequenze di luce diverse da quelle della radiazione visibile. Tuttavia, gli autori del lavoro, diretti da Huanyang Chen della Soochow University di Jiangsu, affermano che il risultato proverebbe la possibilità di realizzare in futuro applicazioni di questo tipo.

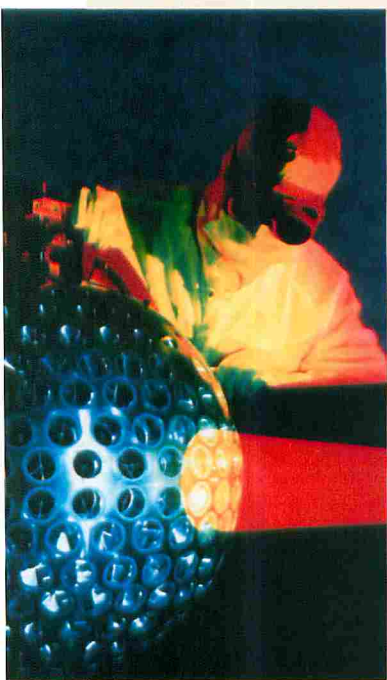
L'esperimento cinese è l'ultimo successo dell'ottica trasformativa, una tecnica che permette di trasformare la risposta ottica di un oggetto in quella di un altro oggetto grazie ai metamateriali, cioè materiali con particolari strutture a scala micrometrica o nanometrica che permettono di modificare la traiettoria della radiazione che li colpisce. Per esempio, si può manipolare la radiazione elettromagnetica in modo da farla «scivolare» su un metamateriale come l'acqua che scorre su una pietra in un fiume. Se la luce segue una traiettoria del genere, l'oggetto coperto con un metamateriale risulta invisibile per gli osservatori.

Nell'esperimento di Huanyang Chen, l'effetto è opposto. Due piccole lastre di metamateriale formano due muri fra cui si apre un varco. Una rete di induttori e condensatori permette di generare onde di elettroni, chiamate plasmoni, sulla superficie dei muri. A loro volta, i plasmoni impediscono che la radiazione elettromagnetica attraversi il varco in modo da renderlo invisibile. In realtà l'effetto si ottiene solo con una radiazione con frequenza tra 45 e 60 megahertz, cioè a frequenze molto più piccole rispetto a quelle della radiazione visibile. Gli autori del lavoro però affermano che, con il miglioramento dei metamateriali, l'esperimento potrebbe essere riprodotto anche con luce visibile.

Michele Catanzaro

NASA/SPL/Contrasto (*Lageos II*); Cortesia David Schurig/Duke University (*metamateriale*)

Conferma italiana per la relatività

Nel 1915, la previsione dell'esatta entità della precessione del perielio di Mercurio fu la prima conferma sperimentale della teoria della relatività generale. Adesso, a quasi un secolo di distanza, David Lucchesi e Roberto Peron, dell'Istituto di fisica dello spazio interplanetario (IFSI/INAF) di Roma, hanno verificato l'esistenza della precessione relativistica sui moti di satelliti artificiali in orbita attorno alla Terra, confermando ancora una volta la validità della teoria. Per ottenere questo risultato, pubblicato su «Physical Review Letters», Lucchesi e Peron hanno studiato l'orbita del satellite LAGEOS II (*nell'immagine*), progettato appositamente per studi geodinamici. In particolare, le distanze orbitali sono state raccolte con la tecnica del *satellite laser ranging*, ovvero con la misura dei tempi di volo di un fascio laser inviato da terra e riflesso dai retroriflettori montati sul satellite stesso. Ora, nell'approssimazione di campo debole e basse velocità, come il caso studiato, le equazioni di campo di Einstein si linearizzano, diventando simili a quelle di Maxwell dell'elettromagnetismo. Usando dati raccolti in 13 anni e il software GEODYN della NASA, i due ricercatori hanno potuto determinare con precisione l'entità della precessione del satellite, e confrontarla con il valore teorico risultante dalla somma delle precessioni di Einstein (effetto gravitoelettrico), di De Sitter (effetto geodetico) e di Lense-Thirring (effetto gravitomagnetico), tre effetti di curvatura e di trascinamento della curvatura dello spazio-tempo causati rispettivamente dalla massa della Terra, dal suo moto attorno al Sole e dalla sua rotazione assiale. L'analisi ha mostrato una discrepanza con la predizione dello 0,2 per cento, confermando la teoria con una precisione del 99,8 per cento.
La ricerca di Lucchesi e Peron rappresenta anche un'accurata verifica della legge di gravitazione universale secondo cui la forza di attrazione gravitazionale varia con l'inverso del quadrato della distanza dalla sorgente del campo, ponendo vincoli alle teorie alternative della gravitazione che prevedono deviazioni da questo andamento.

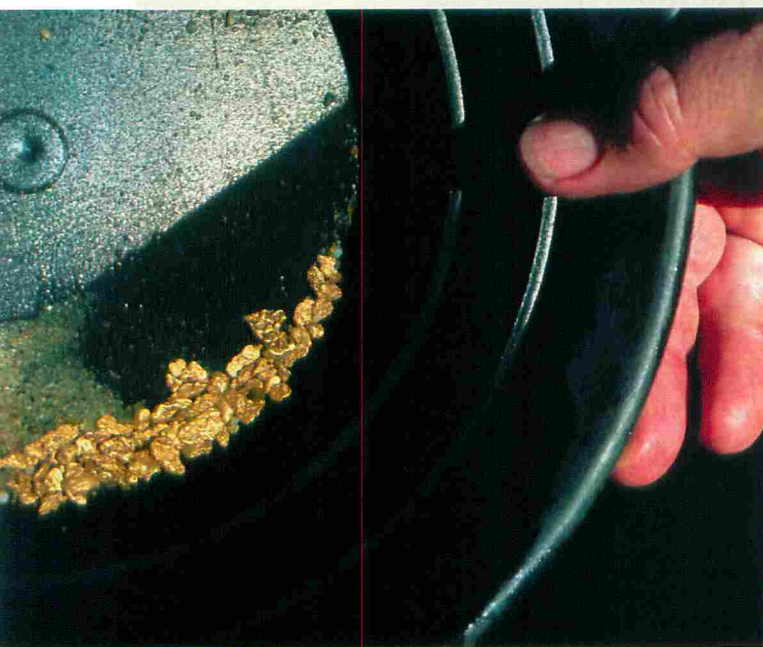
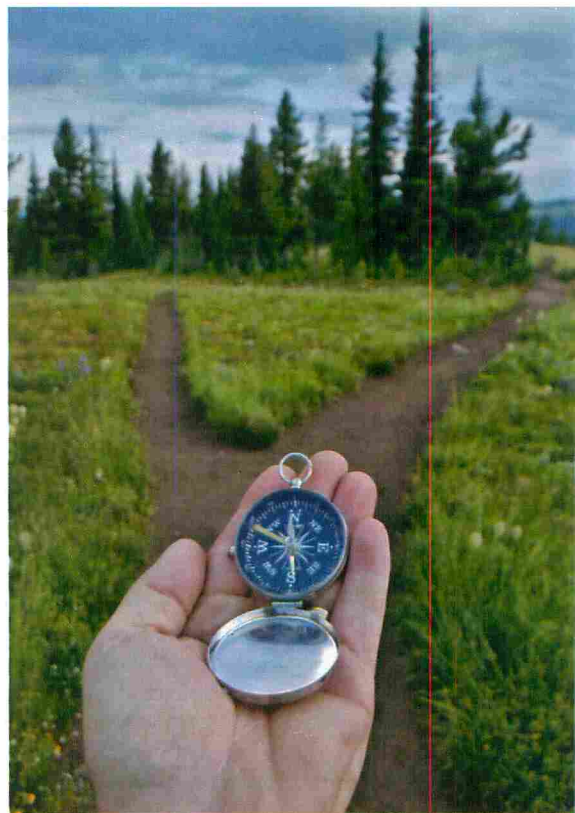
Emiliano Ricci

SCIENZE DELLA TERRA

Due novità sul campo magnetico

Misurata l'intensità nel nucleo esterno e osservata la dinamica della coda magnetica terrestre

L'intensità media del campo magnetico terrestre nel nucleo esterno del nostro pianeta è pari a 25 gauss, cioè 50 volte quella che si misura sulla superficie della Terra. Ad affermarlo è Bruce A. Buffett, geofisico della Università della California a Berkeley, che ha ottenuto per la prima volta una stima diretta di questo valore compiendo accurate misurazioni del moto di precessione della Terra. Secondo Buffet, che ha pubblicato il suo studio su «Nature», l'azione della Luna sull'asse di rotazione del nostro pianeta altera anche i moti del nucleo interno solido e del nucleo esterno liquido, creando correnti elettriche e di conseguenza variazioni del campo magnetico capaci di smorzare la stessa precessione. Per realizzare le osservazioni precise delle piccole variazioni di posizione dell'asse terrestre, Buffet ha usato come riferimento il segnale radio di quasar lontani. Le misure di Buffet sono utili perché permettono di migliorare i modelli matematici della dinamo interna della Terra e di capire come è alimentata, ovvero di identificare le sorgenti di calore necessarie per tenere fluido il nucleo esterno, considerando che elevati apporti termici da decadimento radioattivo producono valori elevati del campo magnetico.

Nel frattempo, la sonda Interstellar Boundary Explorer (IBEX), progettata dalla NASA per studiare la regione di confine dell'eliosfera dove il vento solare incontra il mezzo interstellare, ha raccolto una sequenza di immagini che mostrano per la prima volta la dinamica della coda magnetica della Terra, la regione di campo magnetico che si allunga in direzione opposta al Sole. In particolare, IBEX ha osservato quello che secondo il gruppo guidato da David McComas, del Southwest Research Institute, è un possibile fenomeno di riconnessione magnetica all'interno del «foglio di plasma», il sottile strato equatoriale di plasma che divide i due lobi nord e sud della coda magnetica, anche se non sono escluse altre ipotesi. Queste osservazioni sono state presentate al congresso autunnale dell'American Geophysical Union a San Francisco, mentre un articolo di McComas è stato pubblicato sul «Journal of Geophysical Research».

Emiliano Ricci

Oro alieno sulla Terra

La maggior parte dell'oro che si trova nella crosta e nel mantello della Terra ha origine aliena. Ad affermarlo è un gruppo di ricercatori guidato da William Bottke, del Southwest Research Institute di San Antonio, in Texas, che ha pubblicato uno studio su «Science». Secondo Bottke, l'oro arrivò sulla Terra grazie a un bombardamento di planetoidi verso la fine della formazione del pianeta, circa 4,5 miliardi di anni fa, cioè decine di milioni di anni dopo la collisione che originò la Luna. Lo stesso fenomeno deve essere infatti accaduto anche sul nostro satellite e su Marte, sempre durante le fasi finali di formazione del Sistema Solare.

L'oro primordiale, insieme agli altri metalli siderofili (platino, palladio, iridio e altri), deve essersi raccolto nel nucleo di ferro al momento della formazione del nostro pianeta, durante il processo di separazione del nucleo metallico dal mantello di silicati. Per questo motivo non dovremmo trovarne in superficie. Tuttavia, un modello elaborato al computer da Bottke dimostra che, sotto certe condizioni, una serie di impatti limitati nel tempo con pochi proiettili massicci delle dimensioni massime di Plutone è in grado di spiegare le abbondanze di questi metalli osservate sulle croste terrestre, lunare e marziana. Il risultato sarebbe coerente con le attuali distribuzioni di dimensioni degli asteroidi e dei crateri da impatto marziani.

Emiliano Ricci

Phil Schermeister/Corbis (*oro*); Timothy Epp/iStockphoto (*bussola*);

BIOLOGIA

Il caso del batterio all'arsenico

Diversi scienziati hanno usato il Web per criticare la scoperta

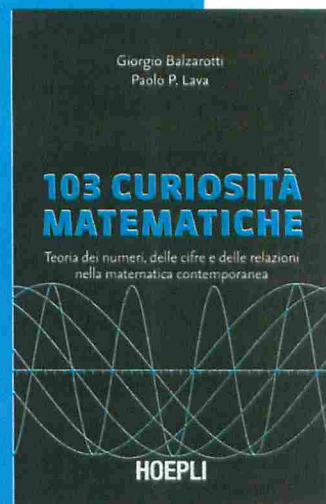
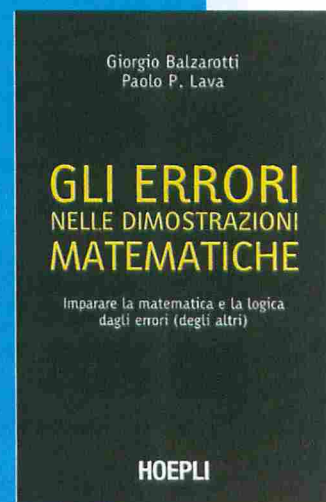
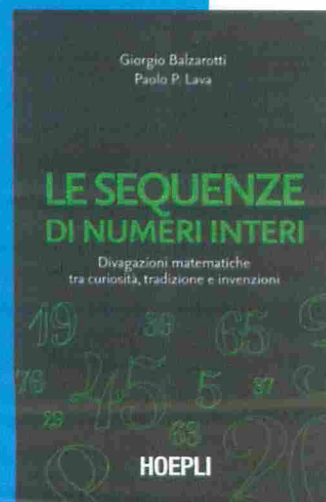
Henry Bortman/Science

Il batterio mangia-arsenico, cioè la scoperta forse destinata a cambiare la nostra comprensione della vita sulla Terra e su altri pianeti, è al centro di polemiche furiose. Potrebbe trattarsi di un madornale errore, ma ci avrà in ogni caso spiegato qualcosa sul modo grazie a cui decidiamo che una conoscenza è affidabile.

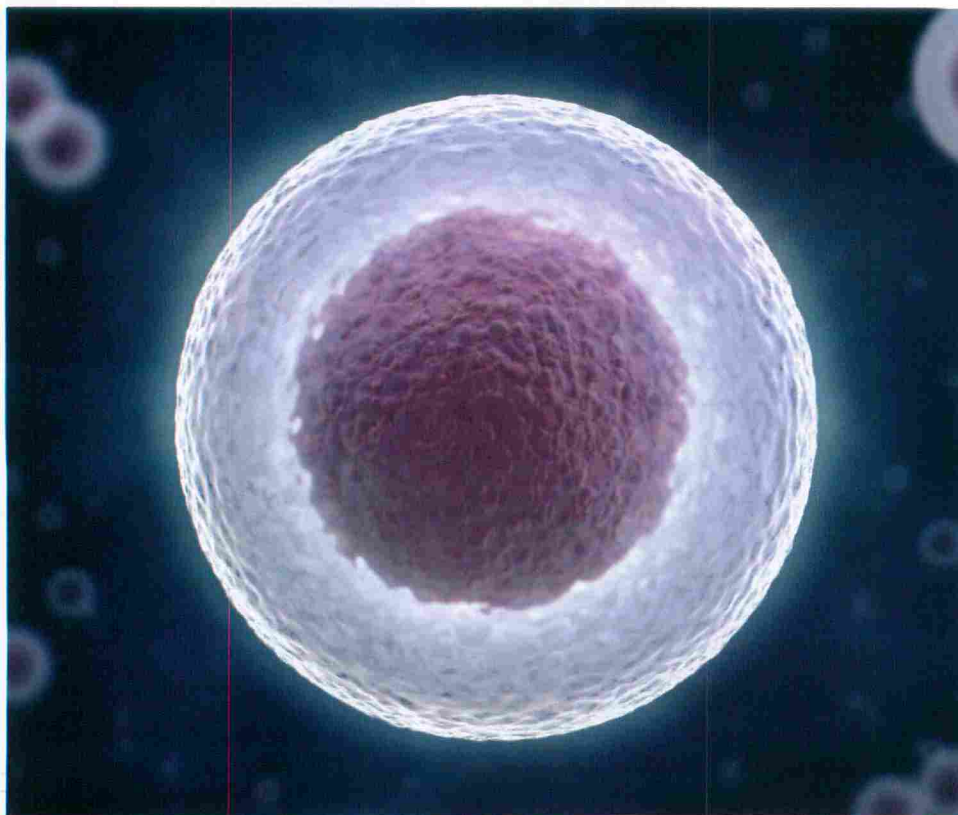
Uno studio pubblicato a dicembre su «Science» da ricercatori della NASA riportava la scoperta di un batterio in grado di crescere usando arsenico al posto del fosforo, uno dei sei elementi ritenuti indispensabili per ogni forma vivente conosciuta insieme a carbonio, idrogeno, azoto, ossigeno e zolfo. Il batterio della famiglia delle *Halomonadaceae*, isolato nel Mono Lake (*foto*) in California e poi coltivato in laboratorio, sembrava usare arsenico (un elemento normalmente tossico) per costruire molecole complesse come acidi nucleici e proteine.

Ma dopo pochi giorni dalla pubblicazione, decine di biologi hanno usato i propri blog per criticare lo studio, bollandolo come «ingenuo» o «errato» nel migliore dei casi. Per esempio, il batterio potrebbe usare residui di fosforo presenti nel terreno di coltura e combattere in modo molto efficace alte concentrazioni di arsenico. Molti scienziati hanno anche accusato i media di aver presentato la ricerca al pubblico con facile entusiasmo e usando termini scorretti, anche grazie ai comunicati stampa della NASA, che parlavano di «vita extraterrestre».

Un caso di cattiva scienza che riceve troppa attenzione da parte dei media? Oppure un segnale che il processo di *peer-review* non ha saputo scoprire errori commessi dagli autori dello studio? In ogni caso, «Nature» ha sottolineato come il Web abbia risposto in modo rapido e preciso alla pubblicazione dello studio. «Nature» sostiene che «i blog e i commenti *on line* possono fornire *feedback* importanti su ricerche pubblicate da poco. Gli scienziati devono cambiare il loro modo di pensare e abbracciare questi nuovi luoghi di dibattito».

Alessandro Delfanti

GENETICA

L'eredità epigenetica dei papà

Un nuovo esempio di trasmissione di informazioni ambientali ai figli

I genitori passano informazioni ai figli in vari modi: attraverso i geni, ovviamente, e, in alcune specie, con insegnamenti culturali. Ma anche attraverso meccanismi di tipo epigenetico che, in risposta alle condizioni ambientali, permettono di modulare l'espressione dei geni della progenie senza alterarne la sequenza di DNA. Un bellissimo esempio in questo senso è quello proposto da alcuni ricercatori statunitensi e israeliani in un articolo apparso su «Cell».

I ricercatori hanno suddiviso alcuni topolini maschi appena svezzati in due gruppi, nutrendone uno con una dieta standard e l'altro con una dieta a basso contenuto di proteine. Alla maturità sessuale li hanno incrociati con femmine allevate con dieta standard, analizzando poi il profilo di espressione dei geni dei nuovi nati a livello del fegato in modo da confrontare quali geni fossero accesi e quali spenti nel tessuto epatico dei topolini figli di papà nutriti con diete diverse.

E le differenze c'erano: nei figli di topi che avevano mangiato poche proteine erano molto più attivi i geni collegati alla sintesi di grassi e di colesterolo. Questi topolini, inoltre, mostravano una maggior frequenza di una particolare alterazione epigenetica a carico di una sequenza di DNA che regola proprio i geni coinvolti nella sintesi dei lipidi. L'idea è che, attraverso un meccanismo epigenetico, i papà abbiano trasmesso ai figli un'informazione ambientale precisa, e un suggerimento. Qualcosa come: «Attenzione che qui il cibo non è di buona qualità; attivate geni che vi permettano di cavarvela comunque».

È probabile che meccanismi analoghi siano attivi anche nella nostra specie: alcuni anni fa, uno studio svedese aveva mostrato una maggiore incidenza di diabete e malattie cardiovascolari nei nipoti di nonni che avevano sofferto di malnutrizione durante l'adolescenza. «Questo indica che gli studi epidemiologici per individuare le varie componenti responsabili di malattie complesse come obesità, diabete e patologie cardiovascolari, non possono più limitarsi a fattori genetici e ambientali», scrivono gli autori. «Occorre considerare anche i fattori epigenetici e raccogliere informazioni non solo sui partecipanti agli studi, ma anche sui loro genitori e nonni».

Valentina Murelli

Vita più lunga, ma più anni di malattie

Un sessantacinquenne statunitense oggi ha il 40 per cento delle possibilità di arrivare a 85 anni, il doppio di uno nato nel 1970, ma ci arriverà con più anni di malattie e infermità. Questo il risultato di una ricerca condotta da Eileen Crimmins e Hiram Beltrán-Sánchez, gerontologi della University of Southern California, e pubblicata a dicembre nel «Journal of Gerontology». I due ricercatori hanno scoperto che mentre nel 1998 si calcolava che un ventenne avrebbe avuto in media altri 45 anni di vita senza incorrere in malattie cardiovascolari, tumori o diabete, e una ventenne 49,2 anni, nel 2006 la stima è scesa a soli 43,8 anni per i ventenni e 48 anni per le ventenni. Aumentata, invece, la stima degli anni di invalidità in vecchiaia, passati da 3,8 del 1998 a 5,8 del 2006.
La ragione è che la medicina moderna è stata in grado di rendere meno mortali le più comuni malattie degli anziani, ma non di eliminarle, anche perché spesso dipendono da scelte, come fumo o tipo di alimentazione, fatte decine di anni prima che si manifestino. Ne consegue che l'incidenza di queste malattie continua a crescere fra gli anziani, che però riescono a conviverci per periodi sempre più lunghi. «Abbiamo sempre pensato che ogni generazione avrebbe vissuto più a lungo e più in salute della precedente – ha scritto Crimmins – tuttavia pare che la riduzione delle malattie fra gli anziani sia illusoria come la ricerca dell'immortalità».

Alex Saragosa

Henrik Jonsson/iStockphoto (*cellula eucariota*)

GENETICA

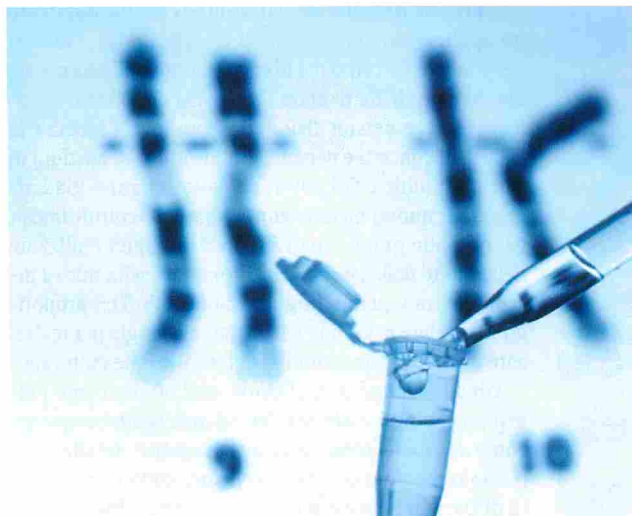
L'interruttore genetico del sesso

Scoperto un gene che promuove lo sviluppo maschile in individui senza il cromosoma Y

John M. Chase/iStockphoto (*embrione di squalo*); Li Ding/iStockphoto (*provetta*)

Dopo la scoperta che basta inattivare un gene in femmine adulte di topi per trasformare le loro ovaie in testicoli, la ricerca sullo sviluppo sessuale riserva nuove sorprese. Alcuni studiosi australiani della School of Molecular and Biomedical Science dell'Università di Adelaide hanno infatti ottenuto topi maschi privi di cromosoma Y semplicemente attivando un gene del loro cervello antico.

I maschi di quasi tutti i mammiferi (esseri umani inclusi) hanno una coppia eteromorfica di cromosomi sessuali (XY) mentre le femmine hanno due cromosomi sessuali identici (XX). Un singolo gene del cromosoma Y, chiamato *SRY*, innesca lo sviluppo dei testicoli nell'embrione precoce, e una volta che questi iniziano a formarsi, anche il resto dell'embrione diventa maschile. Tuttavia, i ricercatori della School of Molecular and Biomedical Science hanno scoperto il modo di generare topi maschi XX (senza cromosoma Y), attivando un singolo gene, chiamato *SOX3*, nel feto in via di sviluppo.

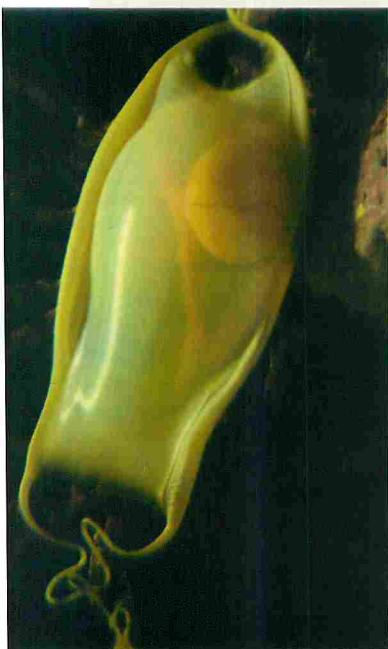
SOX3 era ritenuto importante per lo sviluppo del cervello, ma finora nessuno aveva dimostrato la sua capacità di promuovere uno sviluppo sessuale in senso maschile. Questi individui XX sessualmente invertiti sono completamente maschili per aspetto, strutture riproduttive e comportamenti, ma sono sterili a causa di un'incapacità di produrre spermatozoi.

L'interruttore genetico *SRY* è esclusivo dei mammiferi e la ricerca conferma l'ipotesi che sia evoluto dal gene *SOX3* durante le prime fasi della loro evoluzione, dal momento che *SOX3* si è rivelato un ottimo surrogato. Partendo da questi risultati, pubblicati *on line* sulla rivista «Journal of Clinical Investigation», gli autori hanno cercato risposte alla domanda: e nell'uomo? In un importante studio, frutto di una collaborazione internazionale, hanno dimostrato per la prima volta che cambiamenti nella versione umana del gene *SOX3* sono presenti in alcuni pazienti con disturbi dello sviluppo sessuale, in particolare nei maschi XX. Questa scoperta avrà certamente un impatto sulla diagnosi molecolare di queste malattie e potrà aiutare a sviluppare nuove terapie o tecnologie per migliorare gli esiti clinici.

Eugenio Melotti

La clessidra dello sviluppo

Chi ha dato un esame di anatomia comparata sa quanto è difficile distinguere embrioni di vertebrati anche non troppo affini in un particolare periodo dello sviluppo. Agli inizi della vita embrionale le specie di uno stesso *phylum* possono apparire molto diverse, ma poi convergono verso una morfologia estremamente simile in cui assumono lo schema corporeo tipico del *phylum* – il cosiddetto stadio filotipico – prima di tornare a diversificarsi nelle «infinite forme bellissime» evocate da Darwin. Il concetto di stadio filotipico, però, descritto nell'Ottocento dal biologo Karl von Baer, non convinceva tutti poiché era basato su somiglianze d'aspetto alquanto soggettive. Ora due studi, pubblicati su «Nature», ne mostrano le basi genetico-molecolari.

Pavel Tomancak, del Max-Planck Institut di Dresda, ha confrontato l'andamento dell'espressione genica durante lo sviluppo in sei specie di drosofila. Le differenze tra specie mostrano un profilo «a clessidra» molto simile a quello morfologico: una forte divergenza tra i geni espressi all'inizio si riduce al minimo nello stadio filotipico per poi riallargarsi, e questo vale soprattutto per i geni che regolano la formazione dell'embrione. Tomislav Domazet-Lošo e Diethard Tautz, del Max-Planck Institut di Plön, hanno condotto uno studio analogo in un vertebrato, il pesce zebra *Danio rerio*, distinguendo però i geni in base all'origine evolutiva più o meno recente. È emerso che nello stadio filotipico raggiungono la massima attività i geni più antichi, mentre prima e dopo prevalgono i più recenti. Ma perché gli embrioni devono svilupparsi secondo un simile schema? Tomancak ha verificato che la spiegazione migliore è la selezione naturale. Sembra confermata così l'idea che i piani corporei dei *phylum* si sono evoluti agli inizi della vita pluricellulare con l'invenzione di nuovi programmi genetici, poi rimasti immutati perché vincoli meccanici rendono sfavorevole la variazione di singoli elementi. Le specie si sono diversificate creando i più vari abbozzi di organi prima dello stadio filotipico, e sviluppandoli nelle forme più diverse dopo, ma assemblandoli sempre nel medesimo schema.

Giovanni Sabato

LINGUISTICA

Google Books e la «culturomica»

L'analisi dello sterminato archivio digitale di libri può far luce sull'evoluzione culturale

Un lavoro pubblicato su «Science» ha mostrato un'applicazione imprevista di Google Books: l'analisi del quattro per cento dei libri contenuti nell'enorme archivio digitale ha rivelato l'esistenza di 500.000 parole inglesi che nessun dizionario riproduce, l'ascesa e la caduta di concetti e persone, e addirittura operazioni di censura politica. Gli autori del lavoro hanno già battezzato il nuovo metodo con il nome di «culturomica», ispirato alle grandi analisi di dati biologici realizzate nell'ambito della genomica. I promotori della nuova disciplina, fra i quali il linguista Steven Pinker, propongono di usare la grande banca dati di Google per realizzare uno studio quantitativo dell'evoluzione culturale.

Gli autori hanno verificato che il 50 per cento delle parole inglesi usate nei libri (alcune molto frequenti, come *deletable*) sono sfuggite ai curatori dei dizionari. Inoltre, hanno constatato che nel 2005 la popolarità di Darwin ha superato quella di Freud. Infine, hanno identificato nei libri tedeschi dei primi decenni del XX secolo una frequenza minore rispetto all'inglese di nomi di artisti ebrei o considerati degenerati dai nazisti (per esempio, Picasso). Con lo stesso metodo, hanno redatto una lista di intellettuali che fino a oggi non erano ritenuti tra quelli discriminati dal nazismo, ma che potrebbero essere stati censurati in un modo più sottile: una censura che l'analisi della banca dati sarebbe capace di rivelare.

Michele Catanzaro

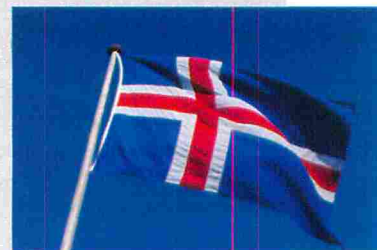
Il cugino asiatico dei Neanderthal

È incredibile quanto possa raccontare un dito mignolo sulla storia evolutiva degli esseri umani. Certo, non è un mignolo qualunque: risale a 30-50.000 anni fa ed è stato ritrovato sui monti Altai in Siberia, nella grotta di Denisova. Nel marzo 2009, il gruppo di Svante Pääbo, al Max-Planck Institut di Lipsia, aveva annunciato che il DNA mitocondriale (contenuto nelle «centrali energetiche» delle cellule) estratto dal mignolo non somigliava né a quello della nostra specie né a quello dei Neanderthal, suggerendo dunque che il dito appartenesse a una nuova specie del genere *Homo*. Dopo qualche mese, i ricercatori sono riusciti a estrarre anche il DNA nucleare: i risultati della sua analisi, insieme alla descrizione di un insolito molare ritrovato sempre nella grotta di Denisova, sono apparsi su «Nature», e sono decisamente interessanti.

Prima osservazione: il padrone del mignolo è più vicino ai Neanderthal di quanto supposto. L'ipotesi è che i Neanderthal e gli uomini di Denisova (gli esperti per ora li chiamano così) siano «cugini», separatisi da un antenato comune uscito dall'Africa circa 500.000 anni fa. Dopo la separazione, i Neanderthal si sarebbero diffusi soprattutto in Europa e nel vicino Oriente, mentre i loro cugini si sarebbero mossi verso l'estremo Oriente.

La seconda osservazione, ancora più eccitante, viene dal confronto tra il DNA del mignolo di Denisova e quello di varie popolazioni umane attuali. Si è scoperto che in molti casi non hanno nulla in comune, ma in uno sì: le popolazioni della Melanesia condividono ben il 4,8 per cento del DNA con gli uomini di Denisova, a indicare che, a un certo punto della loro storia evolutiva, questi ultimi si sono incrociati con antenati *sapiens* dei melanesiani. Un dettaglio in più sulla dinamica di scambi genetici che ha dato origine alle popolazioni attuali. E il molare? Non somiglia né a un dente di Neanderthal né a uno di *Homo sapiens*, ma il suo DNA mitocondriale è del tutto simile a quello del mignolo: facile pensare che appartenga a un altro rappresentante dello stesso gruppo.

Valentina Murelli

La nonna pellerossa degli islandesi

È noto che l'America fu «scoperta» dai Vichinghi cinque secoli prima di Cristoforo Colombo, ma il livello di mescolanza fra gli esploratori e gli indigeni è ignoto.

Ora, uno studio pubblicato sull'«American Journal of Physical Anthropology» offre un indizio interessante: una piccola parte della popolazione islandese ha una variante genetica simile a una presente nei nativi americani, suggerendo che siano i discendenti di una donna americana.

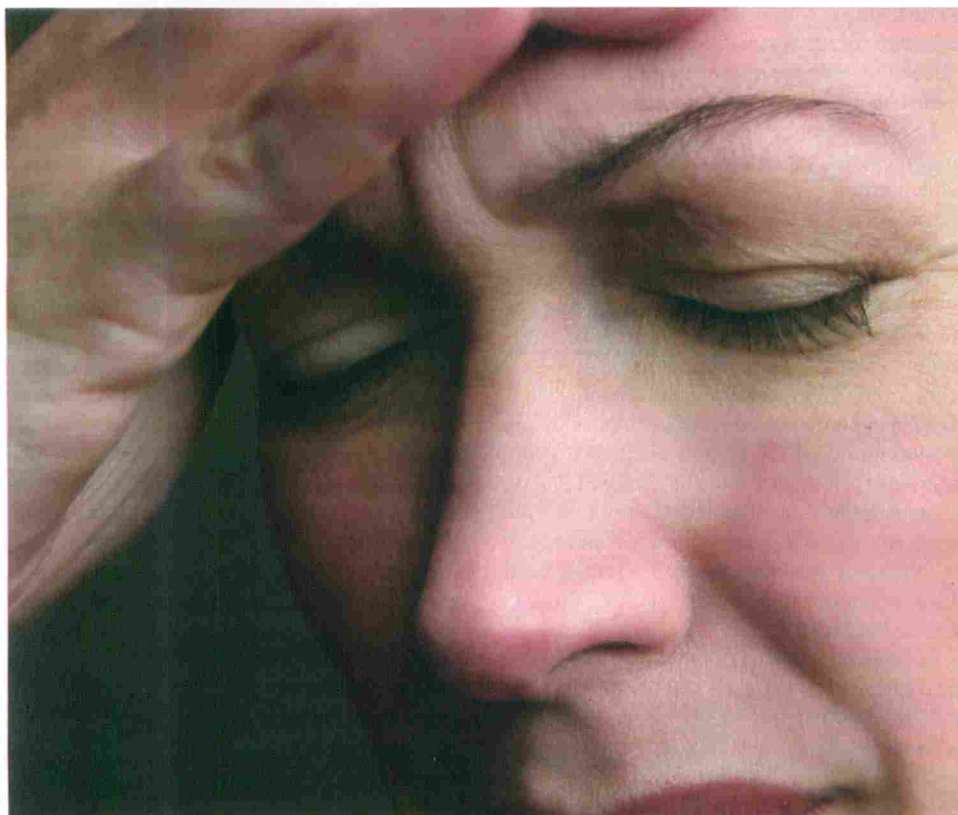
I ricercatori hanno identificato la variante nel DNA mitocondriale, che ogni individuo eredita dai suoi antenati femminili. Lo studio ha ricostruito l'albero genealogico della variante fino a quattro individui vissuti nel 1700. Però, le differenze fra loro suggeriscono che la «proprietaria» di quel DNA mitocondriale sarebbe arrivata in Islanda intorno al 1000 d.C. proprio quando i Vichinghi sbarcarono in America. Ora si spera di rintracciare l'origine della variante studiando il DNA dei discendenti attuali degli indiani d'America.

Michele Catanzaro

spxChrome/iStockphoto (*lente*);

BIOLOGIA MOLECOLARE

L'origine del dolore

Scoperto un processo cellulare che potrebbe portare a nuovi farmaci

Il dolore è il sintomo più comune di traumi e malattie, e il primo motivo per una visita dal dottore. Comprenderne i meccanismi è perciò di fondamentale importanza per l'impatto sulla salute umana e gli altissimi costi sociali.

Ci sono buone notizie su questo fronte. Neuroscienziati dell'Università di Buffalo impegnati in ricerche di base sui canali ionici hanno scoperto un processo cellulare che potrebbe rivoluzionare la terapia del dolore. Il loro studio, pubblicato su «The Journal of Neuroscience», suggerisce che agendo farmacologicamente sui canali ionici si otterrebbe un efficace sollievo dal dolore senza generare gli effetti collaterali tipici dei tradizionali farmaci antidolorifici. Tra questi vi sono i corticosteroidi e i farmaci antiinfiammatori non steroidei, usati per il dolore infiammatorio, il cui impiego a lungo termine però può compromettere la salute dei pazienti.

Le cellule nervose che rispondono agli stimoli dolorosi, note come nocicettori, trasmettono le informazioni al sistema nervoso centrale, che indica la natura, la localizzazione e l'intensità del dolore che ne deriva. I nocicettori sono sensibilizzati durante un'infiammazione: le loro proprietà ioniche e le loro caratteristiche di eccitabilità sono alterate. Questi cambiamenti provocano uno stato di iperalgesia, o aumento della sensibilità al dolore, rendendo anche il semplice tocco di una zona infiammata molto doloroso.

Fino a oggi i meccanismi ionici alla base di quest'alterazione non erano stati del tutto chiariti. Ora però i ricercatori statunitensi hanno dimostrato che una certa classe di canali del potassio viene rimossa dalla superficie delle cellule nocicettive durante il processo infiammatorio, e questa rimozione è legata alla loro ipersensibilità. Si è inoltre scoperto che riducendo l'espressione di questi canali ionici mediante tecniche di interferenza genica si ottiene una simile ipereccitabilità dei nocicettori.

Gli scienziati intendono estendere lo studio a modelli *in vivo*, usando inibitori peptidici per impedire la rimozione dei canali del potassio dalla superficie dei nocicettori durante l'infiammazione. Il loro successo sarebbe per molti un grande sollievo.

Eugenio Melotti

Diane Diederich/iStockphoto (*mal di testa*); Ekaterina Monakhova/iStockphoto (*bambina*)

Dieta di mamma, gusti di figlio

La preferenza di una madre per determinati sapori durante la gravidanza può influire sulle future scelte alimentari del figlio? Una ricerca condotta sui topi alla University of Colorado School of Medicine lascia intendere che ciò sia possibile nei roditori, e forse anche nell'uomo. E dunque, come un bambino nato da una madre che ha bevuto alcolici in gravidanza può essere più attratto dall'alcol, una dieta sana risulta fondamentale non solo per la salute del nascituro, ma anche perché ne influenzerebbe le decisioni future in fatto di alimentazione.

La ricerca è stata fatta su femmine di topo incinta. A un gruppo è stato somministrato mangime poco saporito, mentre a un altro è stata offerta una dieta gustosa, al sapore di menta o ciliegia. Gli scienziati hanno osservato che dopo la nascita i piccoli erano attirati dagli stessi odori a cui erano stati esposti nell'utero. Non solo: i topi esposti alla dieta saporita mostravano un significativo aumento del volume dei glomeruli del bulbo olfattivo del cervello rispetto ai soggetti la cui dieta materna era insipida. L'esposizione del feto a odori particolari sembra quindi decisiva nello sviluppo della parte del cervello che «sente» gusti e profumi.

Sara Stulle

La memoria del freddo nelle piante

Per le piante, fiorire in inverno sarebbe uno spreco di energia. Ma come fanno a «sentire» il caldo senza lasciarsi ingannare da eventuali innalzamenti della temperatura invernale? Jae Bok Heo e Sibum Sung dell'Università del Texas ad Austin hanno aggiunto un nuovo tassello al puzzle dei meccanismi molecolari che controllano la fioritura.
Come spiegato su «Science Express», nelle piante del genere *Arabidopsis* il gene *FLC* reprime la fioritura durante l'inverno. Trascorsi circa 20 giorni di freddo, una molecola di RNA non codificante chiamata COLDAIR si attiva e promuove il silenziamento di *FLC* attraverso l'azione di un complesso proteico. Il processo dura da 30 a 40 giorni, e la fioritura coincide con l'arrivo della primavera. Per i ricercatori, COLDAIR rappresenta una sorta di memoria che tiene il conto dei giorni di freddo trascorsi segnalando alla pianta la fine dell'inverno. Come funzioni questa memoria molecolare è ancora un mistero, ma scoprirlo aiuterà a controllare la fioritura delle colture, se i cambiamenti climatici scombineranno i cicli riproduttivi delle piante. **(MaSa)**

Cellule umane immuni all'HIV

La scoperta di un tallone d'Achille nel virus HIV potrebbe portare a una svolta nella lotta all'AIDS. Ricercatori dell'Università del Minnesota hanno infatti chiarito il modo in cui il virus elude alcune nostre difese naturali, suggerendo come rispondere all'offensiva virale.

Le cellule umane producono una famiglia di proteine antivirali chiamate APOBEC, ma l'HIV ha evoluto la capacità di superare questa difesa usando una proteina accessoria, chiamata Vif (fattore di infettività del virione), per degradare APOBEC e invadere l'organismo. I ricercatori, però, hanno individuato il sito di interazione tra Vif e una specifica proteina antivirale, APOBEC3F, mostrando che modo legame può essere interrotto da un semplice cambiamento chimico sulla superficie di APOBEC3F. Inoltre hanno constatato che siti di legame simili si trovano sulla superficie di altre proteine antivirali. Questo suggerisce che l'interazione distruttiva tra Vif e le proteine APOBEC potrebbe essere bloccata con un farmaco in grado di schermare e proteggere il sito di contatto e di favorire l'azione di altri farmaci antivirali.

La scoperta, pubblicata sul «Journal of Biological Chemistry», potrebbe quindi aprire la strada a un nuovo approccio per combattere HIV e AIDS che sfrutti e potenzi l'azione antivirale innata delle proteine APOBEC. **(EuMe)**

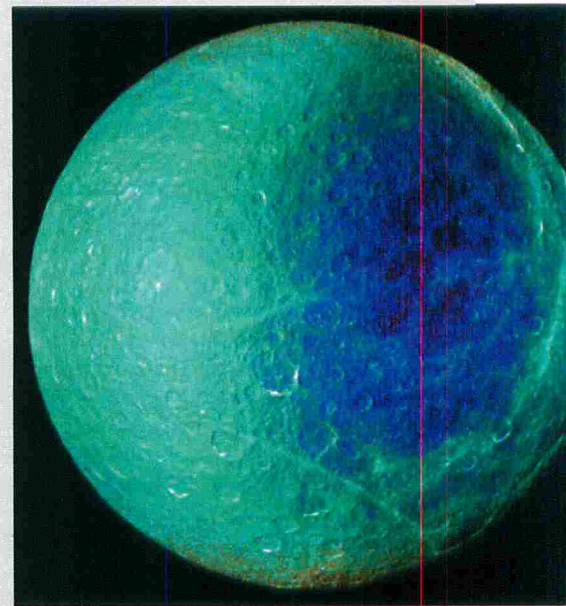
Invasioni ritardate

L'arrivo di specie invasive è favorito dagli scambi economici e cresce con lo sviluppo di un paese, ma il loro insediamento richiede decenni. Il panorama delle specie invasive oggi in Europa riflette quindi il fervore economico di un secolo fa. Lo mostra sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» un gruppo internazionale che include Piero Genovesi dell'ISPRA di Roma e Francesca Gherardi dell'Università di Firenze.

Il gruppo ha esaminato specie invasive appartenenti a dieci gruppi di animali, vegetali e funghi insediatesi in 28 paesi europei, dimostrando che la diffusione odierna è molto più legata agli indicatori economici del 1900 che a quelli del 2000. Fanno eccezione i gruppi più mobili, uccelli e insetti, e i rettili per specificità proprie. Le iniziative per arginare le invasioni potrebbero modificare questo andamento storico, ma per ora sono concentrate solo sulle specie nocive. «Non basta frenare l'afflusso di nuove specie, ma bisognerà pensare anche a quelle già presenti ma non ancora invasive», concludono i ricercatori. **(GiSa)**

Sergey Dubrovskiy/iStockphoto (*foglia*); ANSA (*zanzara tigre*); NASA/JPL/Space Science Institute (*Rhea*)

Su Rhea per una boccata d'aria

Rhea, seconda per dimensioni tra le lune di Saturno dopo Titano, ha un'atmosfera simile a quella terrestre. Il 2 marzo 2010, la sonda Cassini ha sorvolato il satellite, avvicinandosi fino a 97 chilometri dalla sua superficie coperta dai ghiacci, e si è imbattuta in un'atmosfera familiare. Composta da ossigeno per il 70 per cento e per il restante 30 da anidride carbonica, l'atmosfera di Rhea è, però, estremamente tenue: ben 5000 miliardi di volte più rarefatta di quella della Terra (ma 100 volte più densa di quella della Luna). Secondo il gruppo di ricerca che ha studiato i dati di Cassini, l'ossigeno deriva quasi certamente dalla rottura di molecole d'acqua dovuta all'interazione tra particelle energetiche intrappolate nel campo magnetico di Saturno e il ghiaccio d'acqua della superficie di Rhea; meno chiara, invece, l'origine dell'anidride carbonica. Ma i segreti del satellite potrebbero essere svelati ben presto: lo scorso 11 gennaio, infatti, Cassini è tornata a visitare Rhea, scendendo stavolta fino a 69 chilometri dalla superficie, quindi ben all'interno dell'atmosfera. **(CaBi)**

La foresta mummificata di Ellesmere

Lo scioglimento dei ghiacciai può regalare sorprendenti scoperte agli scienziati: basti pensare a Oetzi, l'uomo dei ghiacci alpini, o ai mammut siberiani. Adesso nella spoglia e desolata isola di Ellesmere, nell'Artico canadese, da un ghiacciaio sta emergendo un'intera foresta.

L'ha scoperta l'estate scorsa il geologo Joel Barker, del Byrd Polar Research Center dell'Ohio State University, che ha esposto i risultati preliminari delle sue ricerche al congresso dell'American Geophysical Union, tenutosi a San Francisco lo scorso dicembre. La foresta ha un'età compresa fra 2 e 8 milioni di anni e non è fossilizzata, ma mummificata dal freddo e dalla disidratazione, proprio come accadde a Oetzi.

Gli alberi, soprattutto betulle e abeti rossi, al momento della morte avevano circa 75 anni e mostrano nell'aspetto macilento, nelle foglie piccole e nei sottili anelli dei tronchi, una crescita lenta e sofferta provocata da un clima in rapido raffreddamento. Probabilmente la foresta è stata l'ultima a resistere sull'isola, prima dell'inizio del ciclo di glaciazioni e periodi interglaciali che dura ancora oggi. Secondo Barker, intorno all'Artico potrebbero esserci molte altre antiche foreste pronte a emergere dai ghiacci in fusione, e la decomposizione del loro legno, esposto all'aria dopo milioni di anni, immetterà altri gas serra in atmosfera. (AlSa)

All'ombra di alberi alieni

Dopo aver individuato oltre 500 pianeti extrasolari e aver scattato le prime immagini di quelli più grandi, gli astronomi cominciano a pensare a come individuare su di essi forme di vita. In un articolo pubblicato su «Astrobiology», Christopher Doughty e Adam Wolf della Carnegie Institution a Stanford, affermano che individuare gli equivalenti alieni delle piante non sarebbe difficile poiché altererebbero lo spettro della luce riflessa dal pianeta, assorbendo le lunghezze d'onda usate per la fotosintesi. La Terra, per esempio, apparirebbe, con andamento stagionale, più verde e meno rossa della luce solare.

Ma per i due astronomi, sarebbe possibile persino distinguere le alghe dagli alberi. Anche su altri pianeti, infatti, eventuali vegetali competerebbero per la luce, alzandosi dal suolo e sviluppando foglie e rami, che proietterebbero ombre in grado di alterare l'intensità della luce riflessa, al variare dell'angolo di illuminazione del pianeta. Strumenti abbastanza potenti potrebbero quindi misurare le ombre di foreste aliene. (AlSa)

L'influenza dello stress materno

Il dibattito sul peso di natura e cultura nello sviluppo di un individuo è sempre aperto, da quando l'eclettico scienziato inglese Sir Francis Galton, a metà del XIX secolo, teorizzò per la prima volta in modo rigoroso che potesse esservi una forte connessione tra qualità considerate innate ed educazione. Ora, un importante contributo alla questione – passata alla storia come la controversia *nature versus nurture* – arriva da uno studio sulle quaglie condotto dall'Università di Rennes-1

in Francia, in collaborazione con la Veterinärmedizinische Universität di Vienna.

I ricercatori francesi e austriaci hanno scoperto che alterazioni nella vita sociale degli uccelli tali da provocare stress hanno un'influenza diretta sulla produzione di testosterone nel tuorlo delle uova. Queste alterazioni ormonali determinano a loro volta una cova più lunga e un comportamento asociale dei pulcini. Tutto ciò conferma quanto già accertato per i mammiferi, nella cui fase di gestazione lo scambio ormonale tra madre e il feto ha una pesante influenza sullo sviluppo dei comportamenti del cucciolo. I risultati della ricerca sono stati pubblicati *on line* su «PloS ONE». (MaSe)

Boom di meduse nel Mediterraneo

Uno studio realizzato da scienziati inglesi, francesi, tunisini e spagnoli ha analizzato 50 anni di dati sulle condizioni fisiche e la quantità di plancton presente nell'Oceano Atlantico nord-orientale e nel Mare Mediterraneo, per capire se veramente le meduse in questi mari stiano diventando più comuni. I risultati, pubblicati su «Biology Letters» rivelano che, in effetti, a partire dal 2002, nell'Atlantico si è registrato un progressivo incremento di larve e adulti di *Pelagia noctiluca*, una delle specie più comuni e urticanti di medusa

A causare questa maggiore diffusione sembra essere stato l'aumento delle temperature, soprattutto invernali, delle acque, e la pesca eccessiva dei pesci predatori delle larve generate da questa specie di medusa. La maggiore presenza di *Pelagia noctiluca* in Atlantico, sembra alimentare anche il boom della specie nel Mediterraneo. Prima del 1998, nei nostri mari l'abbondanza di questa medusa seguiva un ciclo di circa 12 anni. Da allora l'abbondanza media è aumentata e il ciclo sembra essersi accorciato, con picchi molto ravvicinati fra loro, come quelli del 2007 e del 2010. La *Pelagia noctiluca* provoca danni sia agli allevamenti di pesce sia al turismo. (AlSa)

Sharon Melson/iStockphoto (*medusa*); YinYang/iStockphoto (*ombre*); Nicholas Belton (*nido di quaglia*)

Tim Berners-Lee ha inventato il World Wide Web. Oggi è direttore del World Wide Web Consortium, organo internazionale con sede negli Stati Uniti, presso il Massachusetts Institute of Technology (MIT). È anche professore di ingegneria al MIT e di elettronica e informatica all'Università di Southampton, nel Regno Unito.

SCIENZE DELL'INFORMAZIONE

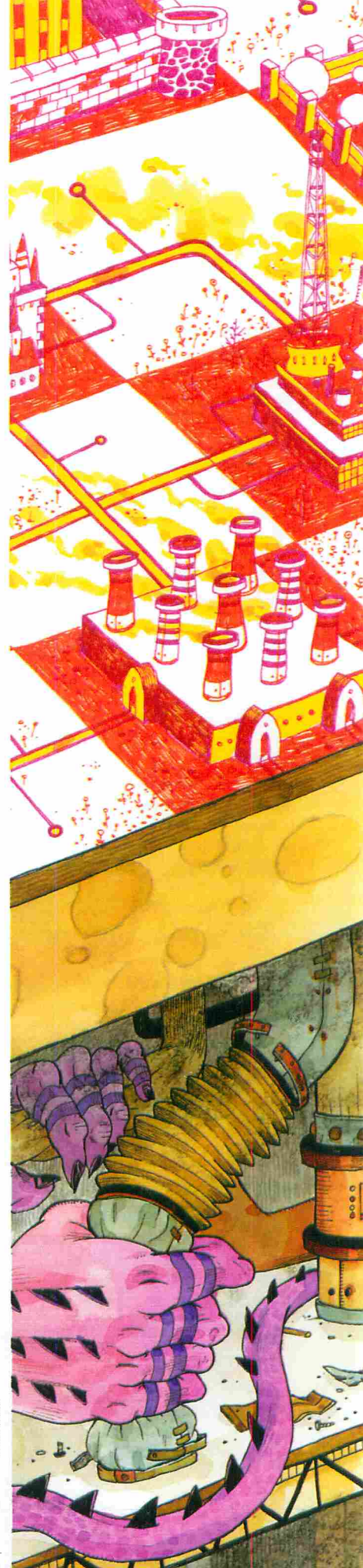
Lunga vita al Web

Il Web non è decisivo solo per la rivoluzione digitale, ma anche per il nostro benessere e la nostra libertà. Per questo deve essere difeso, come la democrazia

di Tim Berners-Lee

Era il dicembre 1990 quando il World Wide Web vide la luce sulla mia scrivania a Ginevra. Era composto da un sito web e un *browser*, entrambi sullo stesso computer. Quella semplice configurazione sottolineava un concetto profondo: chiunque poteva condividere informazioni con altre persone in ogni parte del mondo. Fu con questo spirito che il Web cominciò a diffondersi rapidamente ovunque. Oggi è profondamente integrato nelle nostre vite: lo diamo per scontato, ci aspettiamo di averlo sempre a disposizione, come l'elettricità. Il Web è cresciuto fino a diventare uno strumento potentissimo ed estremamente diffuso grazie ai principi egualitari su cui è stato costruito e al lavoro di migliaia di persone, università e aziende che hanno partecipato – sia insieme sia separatamente come parte del World Wide Web Consortium – per svilupparne le potenzialità sulla base di questi principi.

Il Web come lo conosciamo, però, sta subendo diverse minacce. Alcuni dei suoi abitanti di maggiore successo hanno cominciato a minarne i principi. I grandi *social network* stanno rendendo inaccessibili al resto del Web le informazioni pubblicate dai propri utenti. Alcuni dei fornitori di accesso a Internet (*Internet Service Provider*, ISP) che offrono connettività wireless sono tentati di rallentare il traffico verso i siti con cui non hanno accordi commerciali. I governi – totalitari o democratici – stanno monitorando le abitudini on line dei cittadini mettendo in pericolo importanti diritti umani.

Se noi utenti permettiamo che questa e altre tendenze procedano in modo incontrollato,

John Hendrix

il Web potrebbe dividersi in frammenti isolati, e rischieremmo di perdere la libertà di connetterci ai siti che vogliamo. Gli effetti negativi potrebbero estendersi a *smartphone* e *pad*, anch'essi portali della grande vastità di informazioni fornite dal Web.

Perché dovete preoccuparvi? Perché il Web è vostro. È una risorsa pubblica da cui dipendete voi, i vostri affari, la vostra comunità e il vostro governo. Il Web è anche vitale per la democrazia, è un canale di comunicazione che rende possibile una conversazione globale continua. In questo momento è il mezzo di comunicazione più importante per la tutela della libertà di parola. Incarna i principi sanciti dalla Costituzione degli Stati Uniti, dalla Magna Charta inglese e da altri importanti documenti dell'era della rete: garantisce dal rischio di essere spiati, filtrati, censurati e scollegati.

Eppure le persone sembrano pensare che il Web faccia parte della natura: se comincia ad appassire, non ci si può far niente. Ma non è così. Il Web lo creiamo noi, progettandone i protocolli e i software: è un processo totalmente sotto il nostro controllo. Siamo noi a deciderne le caratteristiche, a scegliere quali proprietà vogliamo o non vogliamo. Questo processo non è affatto concluso. Se vogliamo controllare che cosa fa il governo, come operano le aziende, capire le reali condizioni del pianeta, cercare una cura per l'Alzheimer o anche solo condividere le nostre foto con gli amici, noi (pubblico, comunità scientifica e mondo dell'informazione) dobbiamo essere sicuri che i principi del Web rimangano intatti. Non solo preservando ciò che già abbiamo raggiunto, ma assicurandoci i benefici dei progressi che devono ancora arrivare.

Universalità: concetto fondamentale

I benefici del Web sono tutelati da diversi principi chiave, e l'universalità è il principio progettuale alla base della crescita e dell'utilità della grande ragnatela mondiale. Quando create un link potete collegarvi con qualsiasi cosa. Ciò significa che le persone possono mettere sul Web ogni contenuto che desiderano, indipendentemente dal computer che hanno, dal software che usano, dalla lingua che parlano e dalla disponibilità o meno di una connessione wireless a Internet. Il Web deve poter essere usato anche da persone disabili. Deve funzionare con informazioni di qualsiasi tipo, un documento vero e proprio o una stringa di dati, e informazioni di qualsiasi qualità, da un commento frivolo a un articolo accademico. E deve essere accessibile da ogni tipo di hardware in grado di collegarsi a Internet: fisso o mobile, con schermo piccolo o grande.

Queste caratteristiche possono sembrare ovvie, tautologiche o irrilevanti, ma permetteranno al prossimo sito di successo o alla nuova *homepage* della vostra squadra di calcio di apparire sul Web senza difficoltà. L'universalità è il grande requisito di ogni sistema.

Altra importante caratteristica è la decentralizzazione. Per aggiungere una pagina o creare un link non si deve ottenere un'autorizzazione da un'autorità centrale. Basta usare tre semplici protocolli standard: scrivere una pagina in formato HTML (*HyperText Markup Language*), assegnarle un nome secondo lo standard URI e renderla disponibile su Internet tramite il protocollo http (*HyperText Transfer Protocol*). La decentralizzazione ha reso possibile la diffusione delle innovazioni, e così sarà in futuro.

Lo strumento chiave per l'universalità è l'URI. (All'inizio avevo chiamato *Universal Resource Identifier*, URI, lo schema che identifica la risorsa; ora è chiamato *Uniform Resource Locator*, URL). L'URI permette di seguire qualsiasi link, indipendentemente dal contenuto e da chi lo pubblica. I link trasformano il contenuto del Web in qualcosa di più prezioso: uno spazio di informazioni interconnesse.

Di recente sono apparse molte minacce all'universalità del Web. I network televisivi via cavo che vendono la connessione Internet, per esempio, stanno pensando di permettere agli utenti di scaricare solo i propri prodotti di intrattenimento. I siti di social network presentano un problema di altra natura. Facebook, LinkedIn, Friendster creano valore grazie alla registrazione dei dati personali dei propri utenti: data di compleanno, indirizzo di posta elettronica, gusti personali e link che indicano chi è amico di chi e chi c'è in quella foto. Questi dati sono inseriti in banche dati e poi sono sfruttati per erogare altri servizi dal valore aggiunto, ma solo all'interno del sito in questione. Una volta inseriti i dati in uno di questi servizi, è difficile usarli altrove. Ogni sito è come un contenitore di informazioni separato dagli altri. Certo, le pagine del vostro sito sono sul Web, ma non lo sono i vostri dati. Potete accedere a una pagina che avete creato su un sito che riguarda una lista di persone, ma non potete inviare questa lista, o sue parti, a un altro sito.

L'isolamento si verifica perché non tutte le parti dell'informazione hanno un URI. Le connessioni fra i dati esistono solo all'interno di un sito. Quindi più entrate, più rimanete chiusi e bloccati. Il vostro sito di social network diventa una piattaforma centrale, una scatola di contenuti blindata, che non vi concede il pieno controllo sulle informazioni che vi riguardano e che stanno lì dentro. Più questo tipo di architettura si diffonde e viene usata, più il Web si frammenta e noi perdiamo il nostro spazio informativo universale.

Il rischio è che un social network, un motore di ricerca o un browser possa crescere fino a diventare un monopolio, inibendo l'innovazione. Come è sempre successo dalle origini del Web, una continua innovazione di base è la migliore forma di controllo e bilanciamento contro le possibili minacce all'universalità. I progetti GnuSocial e Diaspora permettono di creare il proprio social network dal proprio *server*, collegandosi a chiunque su ogni altro sito. Status.net, che gestisce siti come identi.ca, permette di gestire una rete personale simile a Twitter senza la centralizzazione di Twitter.

Standard aperti: il motore dell'innovazione

Permettere a ogni sito di avere un link verso qualsiasi altro sito è condizione necessaria ma non sufficiente per una sana evoluzione del Web. Le tecnologie indispensabili a persone e aziende per sviluppare servizi validi devono essere disponibili gratuitamente. Amazon, per esempio, è cresciuto fino a diventare un'immensa libreria on line, poi un negozio di musica e infine un negozio di prodotti di ogni tipo perché aveva un accesso aperto e gratuito a tutti gli standard tecnici su cui funziona il Web. Amazon, come ogni

IN BREVE

Il principio dell'universalità permette al Web di funzionare indipendentemente dal tipo di hardware, software, connessione o linguaggio usato, consentendo di gestire informazioni di ogni tipo e qualità. Questo principio guida la progettazione delle tecnologie del Web.

Standard tecnici aperti e gratuiti permettono di creare applicazioni senza dover pagare né chiedere permessi. L'onere dei diritti, e i servizi Web che non usano i comuni URI per l'indirizzo limitano l'innovazione.

I pericoli per Internet, come per esempio la possibilità di manipolare o spiare il traffico della rete, compromettono i fondamentali diritti umani di associazione.

Le applicazioni, i collegamenti tra dati e altre tecnologie future potranno diffondersi solo se proteggiamo i principi base del Web.

COME FUNZIONA

Web o Internet?

Il Web è un'applicazione che funziona su Internet. Lo stesso vale per i programmi di posta elettronica. Internet è una rete elettronica che «divide» le informazioni in pacchetti e le trasmette fra più computer via cavo o senza fili, secondo semplici protocolli (regole) conosciuti con vari acronimi. Internet e le applicazioni si possono pensare come un insieme di livelli concettuali; ogni livello usa i servizi di quello sottostante. Le applicazioni sono come gli elettrodomestici collegati alla rete elettrica secondo modalità standard.

altro utente della rete, ha potuto usare HTML, URI e HTTP senza chiedere il permesso a nessuno e senza pagare. Inoltre ha sfruttato miglioramenti apportati agli standard dal Web Consortium, permettendo ai propri clienti di compilare moduli per ordini virtuali, pagare on line, valutare gli acquisti e così via.

Per «standard aperti» intendo standard alla cui progettazione può partecipare ogni valido esperto, standard che sono stati ampiamente giudicati accettabili, che sono disponibili gratuitamente sul Web e non prevedono nessun pagamento di diritti da parte di chi li sviluppa o li usa. Standard aperti, liberi e facili da usare sono la grande ricchezza di siti come Amazon, Craigslist e Wikipedia, ma anche dei nostri blog o dei video inseriti dagli adolescenti.

Apertura significa anche poter costruire il proprio sito, personale o aziendale, senza bisogno dell'approvazione di nessuno. Agli inizi del Web non ho dovuto chiedere permessi né pagare licenze per usare standard aperti di Internet come il notissimo protocollo di trasmissione TCP, (*Transmission Control Protocol*) e il protocollo di rete IP (*Internet Protocol*). Analogamente, secondo la politica sui brevetti senza oneri del Web Consortium, aziende, università e persone che contribuiscono allo sviluppo di uno standard non possono farsi pagare i diritti da nessun potenziale utilizzatore.

Standard aperti e senza oneri non implicano che una società o una persona non possano inventare un blog o un programma di condivisione per le foto e farvene pagare l'uso. Possono, e probabilmente sarete disposti a pagare, se ritenete quel sito «migliore» di altri. Il punto è che gli standard aperti permettono più opzioni, gratuite e non. Molte società, infatti, investono nello sviluppo di applicazioni straordinarie proprio perché sanno che funzioneranno per tutti grazie agli standard aperti e liberi del Web, indipendentemente dall'hardware, dal sistema operativo o dal fornitore di accesso alla rete che usano. La stessa certezza incoraggia gli scienziati a dedicare migliaia di ore alla creazione di immense banche dati per condividere, per esempio, informazioni sulle proteine con l'obiettivo di sconfiggere certe malattie. Anche i governi, come quelli degli Stati Uniti e del Regno Unito, sono incoraggiati a inserire on line sempre più dati governativi, in modo da diventare sempre più trasparenti verso i cittadini. Gli standard aperti favoriscono inoltre l'innovazione casuale: qualcuno può usarli in modi che altri non avevano immaginato. Sul Web queste cose succedono ogni giorno.

Il mancato uso di standard aperti, invece, crea mondi chiusi. Il sistema iTunes della Apple, per esempio, identifica canzoni e video usando gli URI, che sono standard aperti, ma anziché far iniziare gli indirizzi con «http:» li fa cominciare con «itunes:», che è proprietario. Si può accedere a un link «itunes:» solo con un programma iTunes della Apple. Non si può creare un link a nessuna informazione appartenente al mondo di iTunes, sia una canzone sia informazioni riguardanti un gruppo musicale. Non si può spedire quel link a qualcuno per farglielo vedere. Qui non siamo più nel Web. Il mondo di iTunes è centralizzato e chiuso. Si è usciti dal mercato aperto; si è intrappolati in un unico negozio. Un negozio magari bellissimo, ma la cui evoluzione è limitata alle decisioni dell'azienda.

Anche altre società stanno creando mondi chiusi. La tendenza delle riviste, per esempio, a produrre applicazioni per smartphone invece che per il Web è allarmante, perché quel materiale è fuori dal Web. Non potete aggiungerlo ai segnalibri o inviare un link per posta elettronica di una sua pagina. È meglio costruire un'applicazione Web che funzioni anche sui browser dello smartphone, e le tecniche in questa direzione migliorano sempre di più.

Forse per qualcuno i mondi chiusi vanno bene. Sono facili da usare, e può sembrare che forniscano ciò che vogliamo. Ma come abbiamo visto negli anni novanta con America OnLine, che forniva accesso a un ristretto sottoinsieme del Web, questi «giardini recintati», per quanto gradevoli, non potranno competere quanto a diversità, ricchezza e innovazione con il folle e pulsante mercato della rete. Inoltre, se un giardino recintato ha una presa troppo stretta su un unico mercato può soffocare la crescita esterna.

Il Web e Internet devono restare separati

Mantenere l'universalità del Web e l'apertura dei suoi standard è un modo per favorire la nascita e la creazione di nuovi servizi. Ma un terzo principio, la separazione dei livelli, distingue la progettazione del Web da quella di Internet.

Questa separazione è fondamentale. Il Web è un'applicazione che funziona su Internet, che a sua volta è una rete elettronica che trasmette pacchetti di informazioni fra milioni di computer tramite protocolli aperti. In pratica, è come se il Web fosse un elettrodomestico che funziona grazie all'elettricità. Un frigorifero o una stampante usano protocolli standard: negli Stati Uniti questi elettrodomestici funzionano a 120 volt e a 60 hertz. Allo stesso modo, ogni applicazione, come il Web o la posta elettronica, può funzionare su Internet solo con protocolli standard di Internet, come il TCP e l'IP.

Le aziende possono migliorare frigoriferi e stampanti senza alterare il funzionamento della rete elettrica, e le società di servizi possono migliorare la rete elettrica senza alterare il funzionamento degli elettrodomestici. I due livelli di tecnologia lavorano insieme, ma possono procedere separatamente. Lo stesso vale per il Web e Internet. La separazione dei livelli è cruciale per l'innovazione. Nel

Jen Christiansen

1990 il Web ha fatto la sua comparsa su Internet e si è continuamente sviluppato senza modificare Internet, e così è stato per ogni miglioramento successivo. E in questi vent'anni la velocità di connessione è passata da 300 bit al secondo a 300 milioni di bit al secondo (300 Mbps, megabit al secondo) senza che il Web dovesse essere riprogettato per sfruttare questi miglioramenti.

I diritti umani elettronici

Sebbene Internet e il Web siano progetti separati, un utente del Web è anche un utente Internet, e quindi libero da interferenze. Agli inizi era tecnicamente troppo difficile per un'azienda o un governo manipolare Internet per interferire con un singolo utente del Web. Ma queste tecniche sono diventate più potenti. Nel 2007 BitTorrent, una società i cui protocolli di rete *peer to peer* permettono di condividere musica, video e altri file su Internet, ha denunciato alla Federal Communications Commission (FCC) il grande fornitore di servizi televisivi via cavo Comcast, che bloccava o rallentava il traffico a chi usava le applicazioni di BitTorrent. L'FCC ha imposto a Comcast un freno, ma nell'aprile 2001 una Corte federale ha deliberato che quell'imposizione non era legittima. Spesso, un buon fornitore di accesso a Internet gestisce il traffico in modo che quando la banda è troppo piccola il traffico meno importante viene lasciato cadere, ma in modo trasparente, affinché gli utenti ne siano al corrente. C'è una differenza fondamentale fra questo tipo di azione e l'uso dello stesso potere a fini discriminatori.

La distinzione evidenzia il principio della neutralità della rete. Se ho pagato per una certa velocità, poniamo 300 milioni di bit al secondo, e anche tu hai pagato per la stessa velocità, le nostre comunicazioni dovrebbero svolgersi a quella velocità. La tutela di questo concetto impedirebbe a un ISP di inviarti a 300 milioni di bit al secondo i video di una società in suo possesso e a una velocità inferiore i video di una società concorrente. Sarebbe una discriminazione commerciale. Potrebbero sorgere altre complicazioni. Che cosa succederebbe se il vostro ISP vi permettesse di connettervi più facilmente a un certo negozio di scarpe rispetto ad altri? Sarebbe una forma di controllo molto forte. E che dire se l'ISP vi rendesse difficile raggiungere i siti di alcuni partiti politici o religioni?

Purtroppo di recente Google e Verizon hanno proposto che la neutralità della rete non debba riguardare le connessioni effettuate dai telefoni cellulari. Molte persone in aree rurali, dagli Stati Uniti all'Uganda, hanno accesso a Internet solo via cellulare; esentare il wireless dalla neutralità della rete esporrebbe questi utenti alla discriminazione del servizio. Inoltre sarebbe strano se il mio fondamentale diritto di accesso alla fonte di informazioni di mia scelta si applicasse solo quando sono sul mio computer di casa con rete locale WiFi e non quando uso la rete dei cellulari.

Un mezzo di comunicazione neutrale è il fondamento della democrazia, della scienza e di un'equa e competitiva economia di mercato. Il dibattito si è riacceso nel 2009, quando è sorta la questione della necessità o meno di una legislazione governativa per proteggere la neutralità della rete. Anche se, generalmente, lo sviluppo di Internet e del Web avviene in assenza di regolamentazioni, alcuni valori di fondo vanno difesi legalmente.

Vietato curiosare

Dalla fusione del Web con Internet possono arrivare ulteriori minacce, fra cui lo *snooping* (letteralmente «curiosare»). Nel 2008 il network pubblicitario Phorm aveva inventato una tecnologia che permetteva a un ISP di sbirciare dentro i pacchetti d'informazioni che stava inviando. L'ISP poteva monitorare la navigazione degli utenti rintracciandone ogni singolo URI con l'obiettivo di creare un profilo dei siti visitati per produrre pubblicità mirata.

Accedere alle informazioni di un pacchetto è come intercettare le telefonate, o aprire la posta altrui. Gli URI rivelano molto su chi li usa. Se un'azienda acquistasse i profili URI di candidati, per esempio, potrebbe usarli per assumere solo personale con determinate opinioni politiche. Le compagnie assicurative potrebbero discriminare chi, poniamo, abbia cercato sul Web il significato dei sintomi cardiaci. Gli *stalker* potrebbero usare i profili per insidiare le proprie vittime. Useremmo il Web in modo molto diverso, se sapessimo che i nostri click sono monitorati e i nostri dati condivisi con terzi.

Anche la libertà di parola va protetta. Il Web dovrebbe essere come un foglio bianco su cui scrivere ciò che si vuole senza nessun controllo. All'inizio del 2010 Google ha accusato il Governo cinese di essersi infiltrato nelle sue banche dati per rintracciare le e-mail di alcuni dissidenti. La presunta irruzione sarebbe avvenuta dopo il rifiuto, da parte di Google, di censurare su richiesta del Governo alcuni documenti sul motore di ricerca in lingua cinese.

I governi totalitari non sono i soli a violare i diritti digitali dei loro cittadini. Nel 2009 la Francia ha approvato la cosiddetta «legge Hadopi», per consentire a una nuova agenzia con lo stesso nome di scollegare per un anno un'utenza domestica da Internet, se qualche membro del nucleo abitativo fosse sospettato da una società di avere rubato musica o video. Dopo una lunga opposizione, nell'ottobre 2010 il Consiglio costituzionale francese ha chiesto a un giudice di riesaminare un caso prima della revoca dell'accesso, ma, se approvato, la famiglia sarebbe scollegata senza regolare processo. Nel Regno Unito, grazie al Digital Economy Act, un disegno di legge frettolosamente approvato ad aprile 2010, il governo può ordinare a un ISP di bloccare la connessione Internet a chiunque appaia su una lista di persone sospettate di violazione del copyright. In settembre il Senato statunitense ha introdotto il Combating Online Infringement and Counterfeits Act, che permetterebbe al governo di redigere una lista nera di siti – ospitati sia negli Stati Uniti sia in altri paesi – accusati di violazione dei diritti e di fare pressione sugli ISP affinché inibiscano l'accesso a quei siti.

In questi casi nessuna garanzia legale protegge chi sta per essere scollegato o i siti che stanno per essere bloccati. Considerando i molteplici aspetti che rendono il Web cruciale per la nostra vita e il nostro lavoro, la sconnessione è una forma di privazione della libertà. Se ripensiamo alla Magna Charta, dovremmo affermare: «Nessuna persona o organizzazione dovrebbe essere privata, senza regolare processo e senza presunzione d'innocenza, della possibilità di connettersi ad altri.»

Quando i diritti di accesso alla rete sono violati, la protesta pubblica è importantissima. I cittadini di ogni parte del mondo si sono opposti alla richiesta della Cina a Google, al punto da far dichiarare alla segretaria di Stato Hillary Clinton che il rifiuto da parte di Google di obbedire alle intimazioni cinesi aveva l'appoggio degli Stati Uniti, e che la libertà di Internet – e con essa la libertà del Web – dovrebbe diventare un impegno formale nella politica estera statunitense. In ottobre, la Finlandia ha creato una rete a banda larga con una velocità di *download* di un megabit al secondo, a cui ognuno dei suoi cinque milioni di abitanti ha diritto d'accesso.

Collegati al futuro

Fino a quando i principi fondamentali del Web saranno difesi, la sua evoluzione non cadrà nelle mani di nessuno, individuo od organizzazione che sia. Se ne preserviamo i fondamenti, il Web garantisce grandi promesse per il futuro.

John Hendrix

L'ultima versione dell'HTML, per esempio, l'HTML5, non è un semplice linguaggio di marcatura, ma una vera piattaforma informatica destinata a potenziare le applicazioni del Web. La diffusione degli smartphone aumenterà l'importanza del Web nelle nostre vite. L'accesso wireless sarà una manna per i paesi in via di sviluppo, dove pochissimi hanno la connettività via cavo a Internet.

Certo, molto c'è ancora da fare: bisogna favorire l'accessibilità ai disabili, creare pagine in grado di funzionare correttamente su ogni tipo di schermo (dagli immensi monitor 3D che occupano un'intera parete fino a quelli grandi come orologi da polso). Una grande promessa futura, da cui dipenderà la forza di tutti gli altri

principi, è quella dei dati collegati (*linked data*). Oggi il Web è molto efficace nell'aiutare le persone a cercare e pubblicare documenti, ma i programmi dei computer non sono in grado di leggere o manipolare i dati effettivi all'interno di quei documenti. Con la soluzione di questo problema il Web diventerà ancora più utile, perché il tasso di creazione di dati che riguardano ogni aspetto delle nostre vite è stupefacente. Questi dati contengono la conoscenza necessaria a curare le malattie, incrementare gli affari e governare il pianeta in modo più efficace.

Gli scienziati stanno guidando gli sforzi più avanzati di inserimento di dati collegati sul Web. Per esempio, alcuni ricercatori hanno capito che i singoli laboratori o le raccolte di dati memorizzati on line spesso sono insufficienti per individuare nuovi farmaci. Le informazioni necessarie a capire le complesse interazioni fra malattia, processi biologici del corpo umano e la sterminata varietà di sostanze disponibili sono sparse per il mondo, in innumerevoli banche dati, documenti e fogli elettronici.

Un successo ha riguardato la ricerca dei farmaci contro il morbo di Alzheimer. Molti laboratori, pubblici e privati, hanno abbandonato ogni tradizionale reticenza nella diffusione dei propri dati creando l'Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative: hanno pubblicato, come dati collegati, un'immensa quantità di scansioni cerebrali e informazioni sui pazienti, a cui avevano fatto riferimento più volte nel corso delle loro ricerche. In una dimostrazione a cui ho assistito personalmente, uno scienziato ha chiesto: «Quali proteine sono coinvolte nella trasduzione del segnale e correlate ai neuroni piramidali?» Digitata su Google, la domanda ha dato 233.000 risultati e non una sola risposta. Digitata nel mondo delle banche dati collegate, invece, ha dato un numero definito di proteine specifiche con quelle proprietà.

Anche gli investimenti e la finanza possono trarre beneficio dai dati collegati. Il profitto dipende in gran parte dalle configurazioni rintracciabili in un insieme sempre più diversificato di fonti di informazioni. Anche le nostre vite sono ricche di dati. Quando entrate nel vostro social network e indicate come amico un nuovo arrivato, stabilite una relazione. E quella relazione è un dato.

I dati collegati sollevano questioni che andranno affrontate. Le nuove potenzialità di integrazione delle informazioni, per esempio, potrebbero porre problemi di privacy trascurati dalle leggi attuali. È possibile esaminare le opzioni legali, culturali e tecniche che tutelano la privacy senza privarci dei potenziali benefici della condivisione dei dati.

La nostra è un'epoca entusiasmante. Sviluppatori web, aziende, governi e cittadini dovrebbero lavorare insieme in modo aperto e collaborativo come abbiamo fatto noi fino a oggi, per preservare i principi fondamentali del Web e di Internet, controllando che i protocolli e le convenzioni sociali consolidate rispettino i valori umani di fondo. L'obiettivo del Web è servire l'umanità. Il Web è una piattaforma: oggi la costruiamo in modo che le prossime generazioni possano creare cose che noi non immaginiamo neanche. ■

GUARDANDO AVANTI

Il Web futuro in azione

Attualmente diverse tendenze di sviluppo stanno sfruttando i principi cardine del Web in un modo che potrebbe cambiare sia il mondo reale sia quello on line. Si vedano le «Letture» in basso in questa pagina per un link agli esempi di quattro tendenze principali (*illustrate qui sotto*) con commenti e immagini:

DATI APERTI
L'inserimento di dati sul Web e il loro collegamento tramite link sta portando nuove e dinamiche competenze a persone in ogni parte del mondo. Ha già aiutato i ciclisti a evitare incidenti a Londra e le squadre di soccorso ad Haiti dopo il tremendo terremoto.

BANDA LARGA GRATUITA
Nei paesi in via di sviluppo poche persone possono permettersi l'accesso a Internet. Un servizio gratuito con poca banda potrebbe migliorare educazione, salute ed economia in quelle regioni, e allo stesso tempo incoraggiare il passaggio a servizi a pagamento più veloci.

MACCHINE SOCIALI
Molte persone inseriscono commenti sui ristoranti, influenzando i futuri avventori. È un esempio di macchina sociale. Ora si progettano macchine più complesse in grado di migliorare il modo di fare scienza, o di gestire la democrazia.

SCIENZA DEL WEB
Abbiamo solo accennato a come il Web riflette il mondo reale e lo condiziona. La scienza del Web, nuova disciplina trattata da varie istituzioni, sta producendo idee interessanti sulla progettazione del Web, sul suo funzionamento e sul suo impatto sociale.

LETTURE

Creating a Science of the Web. Berners-Lee T. e altri, in «Science», Vol. 313, 11 agosto 2006. Si veda anche la Web Science Research Initiative della Web Science Trust: **www.webscience.org.**

Commenti di Tim Berners-Lee sulla progettazione del Web e altri argomenti si trovano all'indirizzo: **www.w3.org/DesignIssues.**

Il World Wide Web Consortium: **www.w3.org.**

La World Wide Web Foundation finanzia e coordina le iniziative che vedono nel Web un servizio per l'umanità: **www.webfoundation.org.**

SANGUE DAI FOSSILI

Sempre più prove ricavate da ossa di dinosauri dimostrano che a volte i materiali organici possono sopravvivere nei fossili per milioni di anni

di Mary H. Schweitzer

Con gli occhi puntati, attraverso il microscopio, sulla fettina di osso fossilizzato, fissavo incredula le sferette rosse che un collega mi aveva indicato. Le minuscole strutture erano all'interno del canale lasciato da un vaso sanguigno che percorreva tortuosamente il tessuto giallino indurito. Ognuna di esse aveva un centro più scuro che somigliava a un nucleo. In verità, quelle sferette sembravano avere proprio lo stesso aspetto degli eritrociti dei rettili, degli uccelli e degli altri vertebrati di oggi, con l'eccezione dei mammiferi, che hanno emazie circolanti prive di nucleo. Ma non è possibile che siano cellule, mi dicevo. La fettina di osso proveniva da un dinosauro recentemente scoperto da un gruppo di studiosi del Museum of the Rockies di Bozeman, nel Montana – un *Tyrannosaurus rex* morto circa 67 milioni di anni fa – e tutti sanno che i materiali organici sono troppo delicati per conservarsi per tutto questo tempo.

Per oltre tre secoli i paleontologi hanno lavorato in base all'assunto che le informazioni che può dare un osso fossile consistono unicamente nelle dimensioni e nella forma. L'opinione consolidata è che quando un animale muore in condizioni che ne consentono la fossilizzazione, una serie di minerali inerti provenienti dall'ambiente sostituisce gradualmente tutte le molecole organiche – come quelle che costituiscono cellule, tessuti, pigmenti e proteine – fino a lasciare soltanto ossa fatte esclusivamente di minerali. Ma lì nel museo, in quel pomeriggio del 1992, fissando le strutture scarlatte che vedevo nell'osso del dinosauro, avevo sotto gli occhi un segno concreto del fatto che quell'assunto, uno dei fondamenti della paleontologia, poteva non essere sempre vero. Tuttavia, ero soprattutto perplessa.

Mary H. Schweitzer ha conseguito il Ph.D. in biologia alla Montana State University nel 1995. Oggi è professore associato nel Dipartimento di scienze del mare, della terra e dell'atmosfera della North Carolina State University e curatore associato del Museo di scienze naturali del North Carolina.

L'esemplare di *Tyrannosaurus rex* noto con la sigla MOR 555, o Big Mike, di cui qui è mostrata una replica, è uno dei pochi dinosauri dalle cui ossa sono stati recuperati materiali organici.

David Liittschwager

IN BREVE

Si è sempre ritenuto che nel corso dei processi di fossilizzazione con il passare del tempo tutti i composti organici scomparissero, lasciando solo resti minerali inerti.

Un crescente numero di prove, però, indica che in certe condizioni sostanze organiche come *resti di sangue*, *cellule* ossee e artigli possono conservarsi nei fossili per milioni di anni.

Queste antiche sostanze potrebbero servire a rispondere a interrogativi quali quelli sui processi di adattamento dei dinosauri al mutare delle condizioni ambientali e sulla rapidità della loro evoluzione.

Dato che i dinosauri erano vertebrati, ma non mammiferi, devono aver avuto globuli rossi dotati di nucleo, e quei cosi rossi certamente ne avevano tutto l'aspetto; d'altra parte, però, potevano anche aver avuto origine da qualche processo geologico di cui non sapevo abbastanza.

All'epoca ero una dottoranda della Montana State University che studiava la microstruttura delle ossa di dinosauro, non certo una consumata professionista. Dopo che ebbi chiesto l'opinione sulla natura di quelle sferette rosse a vari colleghi, la questione arrivò alle orecchie di Jack Horner, curatore del museo e tra i massimi esperti al mondo di dinosauri, che volle vedere con i suoi occhi. La fronte aggrottata, rimase a fissarle attraverso gli oculari del microscopio per quelle che mi parvero ore senza dire una parola. Poi, alzò su di me uno sguardo accigliato e mi chiese: «E *lei* cosa pensa che siano?». Replicai che non ne avevo idea, ma le dimensioni, la forma e il colore erano proprio quelle giuste perché fossero cellule ematiche, e per di più erano anche nel posto giusto. Lui fece un grugnito. «E allora mi dimostri che non lo sono». Era una sfida irresistibile, che mi ha aiutato, e mi aiuta tuttora, a trovare il modo giusto di formulare le domande nel mio lavoro di ricerca.

Da allora, i miei colleghi e io abbiamo recuperato vari tipi di resti organici – compresi vasi sanguigni, eritrociti e frammenti del materiale simile alle unghie di cui sono fatti gli artigli – da molteplici esemplari, il che indica che la preservazione di tessuti molli nei fossili può non essere comune, ma non è neppure un caso unico ed eccezionale. Oltre a rimettere in questione le descrizioni del processo di fossilizzazione dei libri di testo, questi ritrovamenti ci stanno anche permettendo di capire in modo nuovo vari aspetti di queste creature scomparse. Le ossa di un altro esemplare di *T. rex*, per esempio, hanno rivelato che si trattava di una femmina che al momento della morte stava per deporre le uova: un'informazione che non si sarebbe mai potuta ricavare solo dalla forma e dalle dimensioni delle ossa. E una proteina individuata nei resti di fibre trovate vicino a un piccolo dinosauro carnivoro disseppellito in Mongolia è servita a stabilire che era dotato di penne simili, a livello molecolare, a quelle degli uccelli.

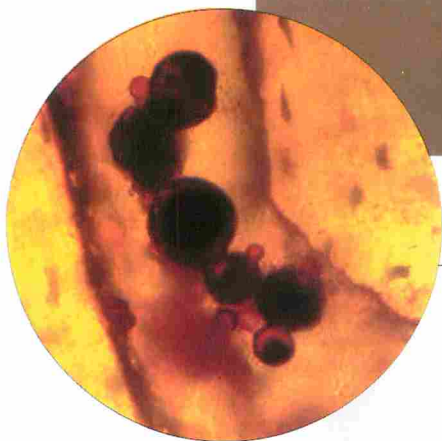
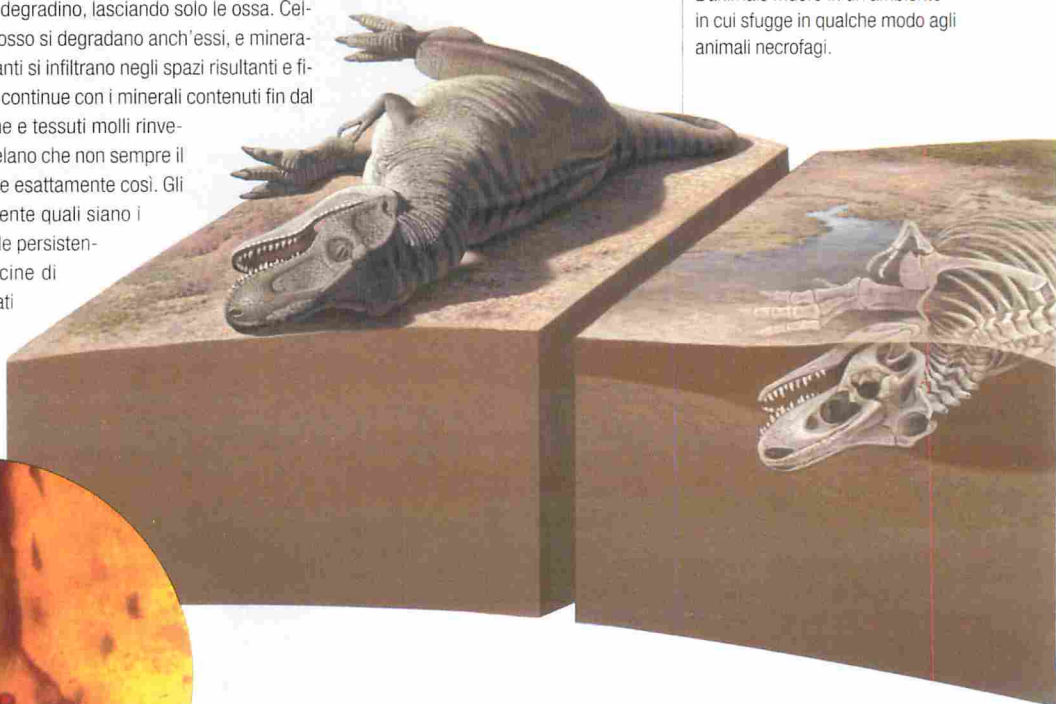
I nostri risultati hanno suscitato scetticismo: dopotutto, sono molto sorprendenti. Ma lo scetticismo fa parte della scienza, e io continuo a trovare questo lavoro affascinante e ricco di promesse. Lo studio delle antiche molecole organiche provenienti dai dino-

Raúl Martin; Mary H. Schweitzer (*microfotografia*)

I PROCESSI DI FOSSILIZZAZIONE

Come nei libri, ma con finale a sorpresa

Il quadro classico della fossilizzazione di un animale prevede che pelle, muscoli, organi interni e tendini si degradino, lasciando solo le ossa. Cellule, proteine e vasi sanguigni dell'osso si degradano anch'essi, e minerali provenienti dai sedimenti circostanti si infiltrano negli spazi risultanti e finiscono per saldarsi in concrezioni continue con i minerali contenuti fin dal principio nell'osso. Cellule, proteine e tessuti molli rinvenuti in varie ossa antiche, però, rivelano che non sempre il processo di fossilizzazione si svolge esattamente così. Gli scienziati non capiscono esattamente quali siano i fattori che permettono l'occasionale persistenza di sostanze organiche per decine di milioni anni, ma ne hanno individuati alcuni (*evidenziati in rosso*) che potrebbero contribuire alla conservazione e al recupero di questi materiali.

Morte
L'animale muore in un ambiente in cui sfugge in qualche modo agli animali necrofagi.

La prima scoperta
Contrariamente a quanto si vede in genere esaminando al microscopio le ossa fossilizzate, una fettina di un osso di *T. rex* osservata dall'autrice conteneva strutture simili a cellule ematiche.

sauri è potenzialmente in grado di far avanzare la nostra comprensione dell'evoluzione e dell'estinzione di questi magnifici animali in modi che anche solo vent'anni fa non avremmo neppure potuto immaginare.

Primi indizi

Per dimostrare affermazioni straordinarie servono prove straordinarie. Gli scienziati scrupolosi fanno ogni sforzo per dimostrare che le loro ipotesi preferite sono sbagliate, prima di accettare che, dopotutto, erano corrette. Così ho trascorso gli ultimi vent'anni a cercare di dimostrare, con tutti gli esperimenti che sono riuscita a farmi venire in mente, la falsità dell'ipotesi che il materiale scoperto dai miei collaboratori e da me sia davvero qualche componente dei tessuti molli di dinosauri e di altri animali da tempo scomparsi.

Nel caso delle microstrutture rosse che avevo visto nell'osso di *T. rex*, iniziai dall'idea che se c'era un legame con i globuli rossi o con qualche costituente di queste cellule (per esempio molecole di emoglobina o di eme ammassatesi dopo essere fuoriuscite dai globuli rossi morenti), allora una cosa del genere poteva essere giunta fino a noi, anche in forma assai alterata, solo se le ossa erano in condizioni di conservazione eccezionalmente buone.

A livello macroscopico, era chiaramente così. Lo scheletro, un esemplare quasi completo proveniente dal Montana orientale – ufficialmente denominato MOR 555 e affettuosamente soprannominato Big Mike – comprendeva molte ossa che solo di rado sono preservate. L'esame microscopico di sezioni sottili delle ossa degli arti aveva rivelato un analogo livello di intatta conservazione. La maggior parte dei vasi sanguigni dell'osso compatto era vuota, non riempita di depositi come di solito accade nei dinosauri. E le nostre strutture microscopiche color rubino comparivano solo nei canali lasciati dai vasi, mai nell'osso circostante o nei sedimenti adiacenti alle ossa, proprio come dovrebbe avvenire per le vere emazie.

Poi rivolsi l'attenzione alla composizione chimica di quei simil-globuli rossi. Le analisi rivelarono che erano ricchi di ferro, come appunto le emazie, e che il ferro stava specificamente in esse. Non solo la composizione elementare dei misteriosi oggetti rossi era diversa da quella dell'osso che stava intorno al vaso sanguigno, ma era anche del tutto distinta da quella dei sedimenti in cui era stato sepolto il dinosauro. Ma, per sottoporre a un'ulteriore verifi-

Sepoltura

La carcassa è ricoperta dai sedimenti prima di essere distrutta dagli animali necrofagi o dagli elementi atmosferici, come può avvenire quando un fiume carico di sedimenti straripa su una pianura alluvionale.

I sedimenti di arenaria, in particolare, sembrano proteggere contro la perdita completa dei resti organici, forse perché la sabbia porosa consente il deflusso dei fluidi corrosivi che si formano durante la decomposizione.

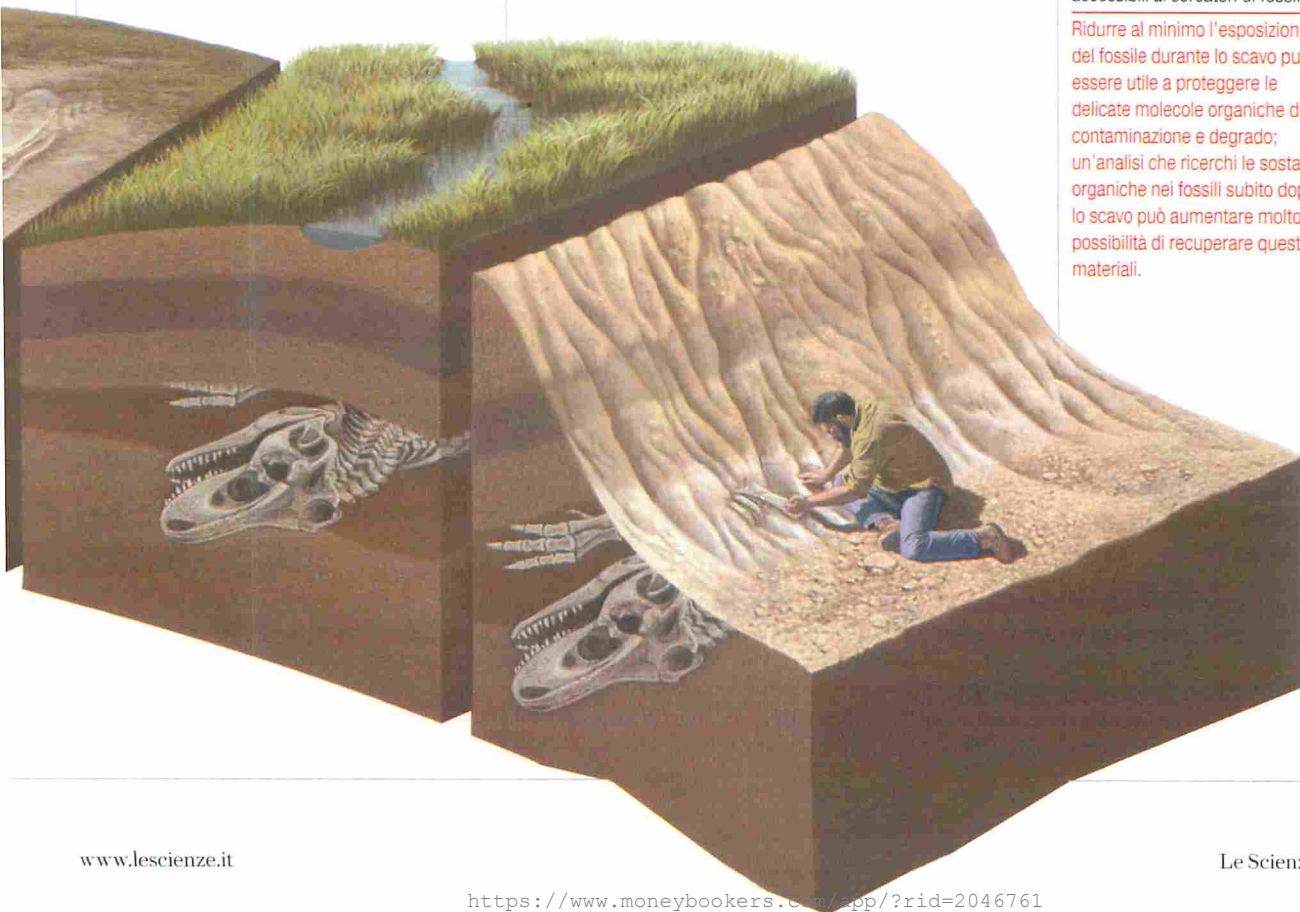
Sepoltura profonda

Ripetute deposizioni di sedimenti, nel corso di milioni di anni, seppelliscono le carcasse molto al di sotto della superficie, dove le ossa sono infiltrate dai minerali disciolti nell'acqua contenuta nel terreno.

Una sepoltura molto profonda potrebbe favorire la conservazione dei tessuti molli perché li protegge dall'ossidazione, dai mutamenti di pH e temperatura e dall'esposizione alla radiazione ultravioletta. Con il tempo, i resti arrivano a uno stato di equilibrio chimico con l'ambiente sotterraneo, che potrebbe essere un aspetto chiave della conservazione dei materiali organici.

Esposizione

I movimenti della crosta terrestre sollevano gli strati sedimentari contenenti i resti fossilizzati, e l'erosione li espone e li rende accessibili ai cercatori di fossili.

Ridurre al minimo l'esposizione del fossile durante lo scavo può essere utile a proteggere le delicate molecole organiche da contaminazione e degrado; un'analisi che ricerchi le sostanze organiche nei fossili subito dopo lo scavo può aumentare molto le possibilità di recuperare questi materiali.

ca il legame tra le strutture rosse e le cellule ematiche, volevo esaminare i miei campioni e cercare in essi l'eme, la piccola molecola contenente ferro che dà al sangue dei vertebrati il suo colore scarlatto e consente alle emoglobine di trasportare l'ossigeno dai polmoni al resto del corpo. L'eme «vibra», o manifesta risonanze, in modo ben identificabile quando lo si stimola con un laser, e dato che contiene un centro metallico assorbe la luce in modo assai caratteristico. Quando sottoponemmo i nostri campioni di osso a test spettroscopici – in cui si misura la luce emessa, assorbita o diffusa da un dato materiale – i nostri risultati rivelarono che in qualche punto dell'osso di dinosauro c'erano appunto alcuni composti compatibili con l'eme.

Uno degli esperimenti più convincenti fra quelli che effettuammo sfruttava le risposte immunitarie. Quando il corpo si accorge di essere invaso da sostanze estranee, potenzialmente dannose, produce proteine difensive, gli anticorpi, che riconoscono specificamente quelle sostanze o si legano a esse. Iniettammo estratti di osso di dinosauro in alcuni topi, che produssero anticorpi contro i composti organici in essi presenti. Quando esponemmo questi anticorpi a emoglobine ottenute da tacchini e ratti, abbiamo visto che si legano a esse: segno che negli estratti che avevano causato la produzione di anticorpi da parte dei topi c'era emoglobina, o qualcosa di molto simile. I dati ottenuti con gli anticorpi, insomma, confermavano l'idea che le ossa di Big Mike contenessero qualcosa di simile a quella che negli animali di oggi è l'emoglobina.

Nessuno dei numerosi saggi chimici e immunologici che eseguimmo confutava l'ipotesi che le misteriose strutture rosse fossero eritrociti di *T. rex*. Però non riuscimmo a dimostrare che la sostanza emoglobino-simile era presente proprio in quelle strutture rosse e solo in esse; le tecniche disponibili non erano abbastanza sensibili da permettere una differenziazione di questo genere. Non potevamo sostenere in maniera definitiva che si trattasse di cellule ematiche. Nel pubblicare i nostri risultati, nel 1997, traemmo conclusioni assai prudenti, affermando solo che era possibile che fossero presenti proteine del gruppo dell'emoglobina, e che la fonte più probabile di tali proteine erano le cellule del dinosauro. L'articolo attrasse ben poca attenzione.

Lavorando sul *T. rex* cominciai a capire quante cose possono rivelare le sostanze organiche presenti nei fossili a proposito degli animali estinti

Le prove si accumulano

Grazie al lavoro sul *T. rex*, avevo cominciato a capire quante cose possono rivelare le sostanze organiche presenti nei fossili a proposito degli animali estinti. Se avessimo potuto procurarci delle proteine, forse avremmo potuto decifrare la sequenza degli amminoacidi che le costituiscono, in modo molto simile a quel che fanno i genetisti con le «lettere» di cui è fatto il DNA. E, proprio come le sequenze di DNA, le sequenze proteiche contengono informazioni sulle parentele evolutive fra i diversi animali, su come cambiano le specie nel tempo e su come l'acquisizione di nuovi tratti genetici potrebbe aver conferito vantaggi agli animali che li recavano. Prima però dovevo far vedere che c'erano proteine antiche anche in altri fossili, non solo nel *T. rex* da noi studiato. Lavorando con Mark Marshall, allora all'Università dell'Indiana, e a Seth Pincus e John Watt, rivolsi la mia attenzione a due fossili ben conservati che parevano promettenti rispetto alla possibilità di ricavarne sostanze organiche.

Il primo era un bellissimo uccello primitivo, chiamato *Rahonavis*, scoperto in Madagascar in depositi che risalgono al tardo Cretaceo, tra 70 e 80 milioni di anni fa. Durante lo scavo, era stato notato un materiale bianco e fibroso sulle ossa delle dita dello scheletro. Nessun altro osso, in tutto il sito fossilifero, sembrava presentare la stessa sostanza, che non risultava presente neppure nei sedimenti circostanti; ciò faceva pensare che non fosse dovuto a deposizione secondaria, ma provenisse invece dall'animale. Gli scopritori si erano domandati se quel materiale potesse essere analogo alla robusta guaina proteica, fatta di cheratina, che riveste le ossa delle dita degli uccelli oggi viventi, formandone gli artigli; e chiesero la mia collaborazione.

Le proteine della cheratina sono buone candidate per la preservazione a lungo termine, perché nei vertebrati sono abbondanti e la loro composizione le rende molto resistenti al degrado, cosa ovviamente utile in organi come la pelle, che sono esposti a condizioni piuttosto severe. Ci sono due tipi principali di cheratine: le alfa e le beta. Le alfa cheratine sono presenti in tutti i vertebrati; negli esseri umani, per esempio, formano peli e unghie, e contribuiscono alla resistenza all'abrasione e alla disidratazione della pelle. La beta cheratina è assente nei mammiferi, si trova soltanto negli uccelli e nei rettili.

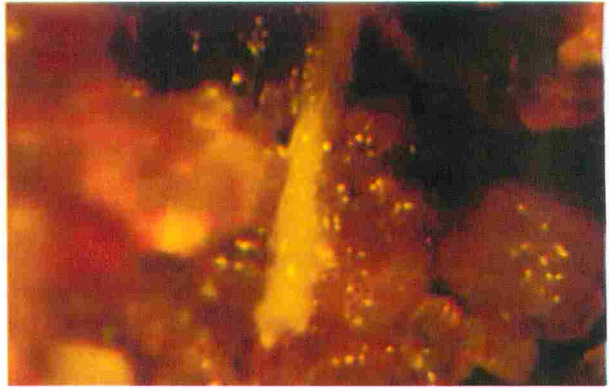
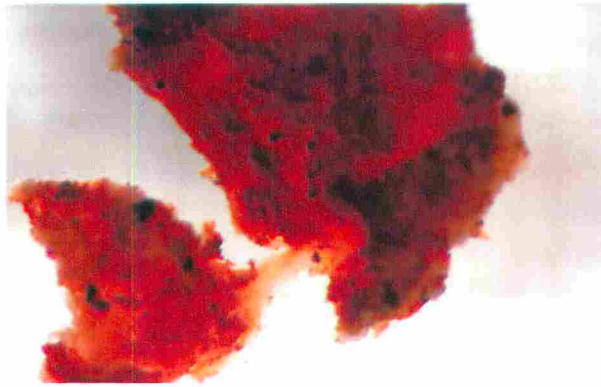
Per verificare la presenza di cheratina nel materiale bianco trovato sulle ossa di *Rahonavis*, usammo molte delle stesse tecniche impiegate per il *T. rex*. Particolarmente degni di nota furono i test anticorpali, che indicarono la presenza sia di alfa che di beta cheratina. Altre analisi individuarono alcuni amminoacidi sul materiale che ricopriva le ossa della zampa, trovando anche azoto (uno degli elementi costitutivi degli amminoacidi) legato ad altri composti in modo assai simile a quello in cui si legano insieme le proteine nei tessuti viventi, cheratina compresa. I risultati di tutti i nostri test confermarono che il misterioso materiale bianco che ricopriva le ossa delle dita di quell'antico uccello conteneva frammenti di alfa e beta cheratina; era quanto restava dei suoi artigli letali.

Il secondo esemplare che esaminammo era uno spettacolare fossile del tardo Cretaceo scoperto in Mongolia da scienziati dell'American Museum of Natural History di New York. Benché sia stato chiamato *Shuvuuia deserti*, o «uccello del deserto», in realtà era un piccolo dinosauro carnivoro. Mentre ripuliva il fossile, uno dei tecnici del museo, Amy Davidson, notò certe piccole fibre bianche nella regione del collo dell'animale, e mi chiese se avrei potuto chiarire se erano resti di piume. Gli uccelli discendono dai dinosauri, e i cacciatori di fossili hanno scoperto un certo numero di fossili di dinosauro in cui sono preservate impronte di piume, quindi l'idea che *Shuvuuia* possa esser stato coperto da una livrea di piume era plausibile. Però non mi aspettavo che strutture delicate come quelle delle piume fossero scampate alle ingiurie del tempo, e sospettavo che quelle fibre bianche provenissero invece da piante o funghi moderni. Comunque, accettai di guardarle più da vicino.

Con mia sorpresa, i test iniziali esclusero che le fibre venissero da piante o funghi. In più, le successive analisi della loro microstruttura indicarono la presenza di cheratina. Piume e penne mature degli uccelli attuali sono fatte quasi esclusivamente di beta cheratina. Se le piccole fibre rinvenute su *Shuvuuia* avevano a che fare con le piume, in esse avrebbe dovuto trovarsi soltanto beta cheratina,

Antichi resti organici

I ricercatori hanno ormai recuperato tessuti molli da diversi fossili risalenti a decine di milioni di anni fa.

L'osso di un dito della zampa di *Rahonavis ostromi*, un uccello vissuto circa 70-80 milioni di anni fa in Madagascar, presenta un materiale bianco che sembra essere un residuo della guaina proteica che ne ricopriva gli artigli.

Questo filamento cavo (*al centro*) che somiglia alla fibra di una piuma apparteneva a un piccolo dinosauro carnivoro, *Shuvuuia deserti*, che abitava la Mongolia tra gli 83 e i 70 milioni di anni fa.

Questo osso midollare – un particolare tipo di tessuto che appare per breve tempo quando una femmina si prepara a deporre le uova – è stato trovato in un osso risalente a 68 milioni di anni fa di un *T. rex* scoperto nel Montana.

Vasi sanguigni – o qualcosa di molto simile – sono emersi dopo la dissoluzione dei minerali di un frammento di osso di un tipo comune, l'osso corticale, del *T. rex* del Montana.

Marylou Stewart, Stony Brook University (*osso del dito*); Mary H. Schweitzer (*filamento cavo e vasi sanguigni*); da *Soft-Tissue Vessels and Cellular Preservation in Tyrannosaurus Rex*, di Mary H. Schweitzer e altri, in «Science» Vol. 307, 25 Marzo 2005 (*collagene*)

contrariamente alla guaina dell'artiglio di *Rahonavis*, che conteneva sia alfa che beta cheratina. E proprio questo è ciò che trovammo con i test anticorpali: i risultati furono pubblicati nel 1999.

Scoperte straordinarie

A quel punto ero convinta che minimi quantitativi delle proteine originarie potevano mantenersi in fossili estremamente ben conservati, e che avevamo gli strumenti per identificarli. Molti ricercatori però non ne erano affatto persuasi; le nostre scoperte mettevano in discussione tutto ciò che si riteneva di sapere sul degrado di cellule e molecole. Studi in provetta di molecole organiche indicavano che le proteine non dovrebbero durare più di un milione di anni; e la resistenza del DNA dovrebbe essere ancora minore. In precedenza alcuni ricercatori avevano sostenuto di aver recuperato DNA vecchio di milioni di anni, ma studi successivi non avevano confermato i risultati. Gli unici casi accettati di molecole di grande antichità risalivano al massimo a decine di migliaia di anni fa. Un revisore che esaminò un mio articolo mi disse che non sarei mai riuscita a convincerlo, quali che fossero i nostri dati.

Per superare queste resistenze, un collega mi consigliò di fare un passo indietro, e dimostrare l'efficacia dei nostri metodi per identificare le proteine in ossa che fossero sì antiche, ma non quanto quelle dei dinosauri, in modo da fornire una prova di principio. Lavorando con il chimico analitico John Asara, della Harvard University, ottenni proteine provenienti da fossili di mammut di età stimata tra i 300.000 e i 600.000 anni. Il sequenziamento delle proteine con la spettrometria di massa le identificò senza ambiguità come collagene, un componente essenziale di ossa, tendini, pelle e altri tessuti. La pubblicazione di questi risultati nel 2002 non scatenò grandi controversie. Anzi, furono in larga misura ignorati, ma presto questa prova di principio si sarebbe rivelata assai utile.

L'anno dopo, un gruppo del Museum of the Rockies portò a termine lo scavo di un altro scheletro di *T. rex*, che con i suoi 68 milioni di anni è il più antico finora noto. Come l'altro e più recente *T. rex*, questo – indicato con la sigla MOR 1125, e soprannominato Brex – è stato recuperato dalla Hell Creek Formation, nel Montana orientale. È un sito isolato e remoto, inaccessibile ai veicoli, e quindi bisognava usare un elicottero per trasportare le ossa,

protette da una «camicia» di gesso. Ma la camicia con le ossa della zampa posteriore si rivelò troppo pesante perché l'elicottero potesse sollevarla, per cui il gruppo aveva rotto il gesso e separato le ossa per poi incamiciarle di nuovo. Le ossa però sono fragili, e alla prima apertura del gesso ne caddero vari frammenti, che furono messi da parte per me.

Appena misi gli occhi sul primo pezzo di osso, un frammento del femore, capii che era uno scheletro speciale. A rivestire la superficie interna del frammento c'era un sottile strato ben distinto di un tipo di osso che non era mai stato trovato nei dinosauri. Era uno strato assai fibroso, pieno di canali vascolari, e del tutto diverso per colore e consistenza dall'osso corticale di cui è fatta la maggior parte dello scheletro. «Oddio, è *femmina*... Ed è incinta!», esclamai rivolta alla mia assistente, Jennifer Wittmeyer. Lei mi guardò come se fossi impazzita. Avendo studiato la fisiologia degli uccelli, però, ero quasi certa che quella caratteristica così particolare fosse osso midollare, uno speciale tessuto che compare solo per poco tempo (spesso appena un paio di settimane), quando gli uccelli si preparano a deporre le uova, e che serve a fornire una fonte di calcio facilmente disponibile con cui rinforzare il guscio dell'uovo.

Una delle caratteristiche che distinguono l'osso midollare da altri tipi di osso è l'orientamento casuale delle sue fibre di collagene, il che indica che la sua formazione è stata assai rapida. Le ossa degli uccelli attuali, e di ogni altro animale, si possono demineralizzare con acidi deboli per evidenziare questa rivelatrice disposizione delle fibre di collagene. Decidemmo appunto di provare a rimuovere i minerali; se era davvero osso midollare, e se c'era il collagene, dopo l'eliminazione dei minerali sarebbero dovute restare fibre orientate in modo casuale.

Tolti i minerali, rimase un pezzetto di tessuto fibroso e flessibile. Non riuscivo a credere a quel che stavamo vedendo. Ripetemmo l'esperimento più e più volte, e ogni volta che mettevamo quel particolare strato di osso nella soluzione di acido debole rimaneva materiale fibroso ed elastico, proprio come succede quando si tratta allo stesso modo l'osso midollare degli uccelli.

Per di più, quando dissolvemmo nella stessa soluzione dei pezzetti del più comune, e più denso, osso corticale, ottenemmo altri tessuti molli. Dalla matrice in via di dissoluzione emersero tubi vuoti, trasparenti, flessibili e ramificati, che avevano esattamente lo stesso aspetto dei vasi sanguigni. Sospesi all'interno dei vasi c'erano accumuli amorfi di materiale rosso o piccole strutture rosse tondeggianti. Ulteriori esperimenti di demineralizzazione hanno rivelato cellule ossee di aspetto ben riconoscibile, gli osteociti, che sono quelle che secernono il collagene e altri costituenti della parte organica dell'osso. L'intero scheletro sembrava aver preservato materiali mai visti prima in ossa di dinosauro.

Quando pubblicammo le nostre osservazioni su «Science», nel 2005, riferendo della presenza di reperti che parevano essere collagene, vasi sanguigni e cellule ossee, il lavoro fu oggetto di grande attenzione, ma la comunità scientifica adottò un atteggiamento di attesa. Noi sostenevamo soltanto che il materiale da noi trovato corrispondeva alle sue versioni moderne, non che fosse esattamente la stessa cosa. Dopo aver passato milioni di anni sepolto fra i sedimenti ed esposto a mutevoli condizioni geochimiche, il materiale preservato in queste ossa poteva essere ben poco somigliante, dal punto di vista chimico, a ciò che era stato quando il dinosauro era vivo. Il reale valore di quello che avevamo ottenuto si sarebbe potuto capire solo se si fosse riusciti a determinarne la composizione. Il nostro lavoro era appena agli inizi.

Sfruttando le tecniche messe a punto per studiare Big Mike, *Rahonavis*, *Shuvuuia* e il mammut, iniziai un'approfondita analisi dell'osso di *T. rex* in collaborazione con Asara, che aveva raffinato ancora i metodi di purificazione e sequenziamento che avevamo usato sul mammut. Questa volta il compito era assai più arduo, perché la concentrazione delle sostanze organiche nel dinosauro era di interi ordini di grandezza più bassa di quella riscontrata nel mammut, assai più recente, e perché le proteine erano fortemente degradate. Tuttavia riuscimmo a sequenziarle. E quando Chris Organ, di Harvard, confrontò le sequenze del *T. rex* con quelle di molti altri organismi, trovò, con nostra somma gioia, che il gruppo in cui meglio le si sarebbe potute includere erano gli uccelli, seguiti dai coccodrilli: proprio i due gruppi, tra quelli moderni, che sono più strettamente imparentati con i dinosauri.

Controversie e sviluppi

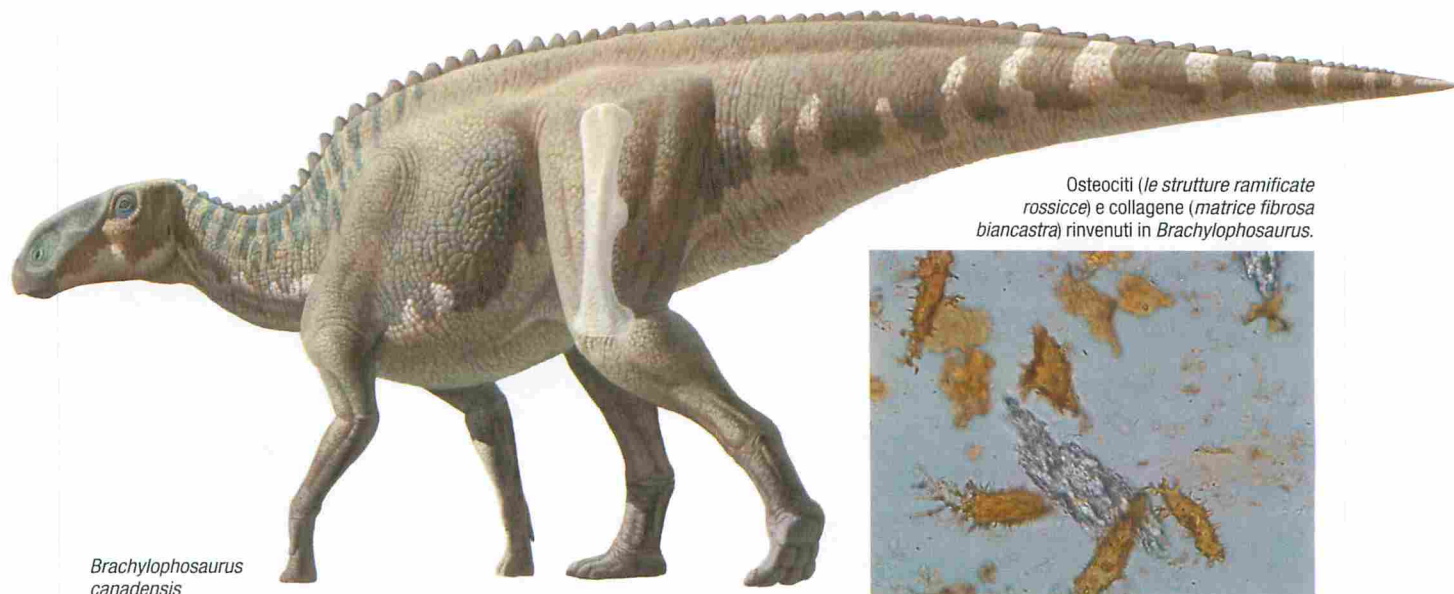
Gli articoli in cui abbiamo descritto dettagliatamente il lavoro di sequenziamento, pubblicati nel 2007 e nel 2008, hanno scatenato un vero uragano di controversie, in gran parte concentrate sulla nostra interpretazione dei dati di spettrometria di massa usati per il sequenziamento. Alcuni ci accusavano di non aver presentato abbastanza sequenze da provare le nostre affermazioni; altri sostenevano che in realtà le strutture che avevamo interpretato come tessuti molli primordiali erano biofilm, mucillagini prodotte da microrganismi che avevano invaso l'osso fossilizzato. Io non sapevo bene come prendere queste reazioni. Da un lato, gli scienziati devono essere scettici ed esaminare le affermazioni straordinarie con il massimo rigore. Dall'altro lato, la scienza funziona in base a un principio di parsimonia: si assume che la spiegazione più semplice che dia conto di tutti i dati a disposizione sia quella corretta. E noi, a sostegno della nostra ipotesi, avevamo portato prove di diversi tipi.

«Oddio, è femmina... Ed è incinta!», ho esclamato rivolta alla mia assistente, Jennifer Wittmeyer. Lei mi ha guardato come se avessi improvvisamente perso la ragione

Ma sapevo che una singola scoperta mirabolante alla lunga non ha gran posto nella scienza. Dovevamo sequenziare proteine provenienti da altri fossili di dinosauro. Quando, durante una spedizione estiva, abbiamo scoperto le ossa di un dinosauro dal becco d'anatra, un erbivoro di 80 milioni di anni fa, *Brachylophosaurus canadensis*, o Brachy, il sospetto che potesse essere una buona fonte di proteine antiche ci è venuto ancora prima di estrarne le ossa dal terreno. Sperando che contenesse composti organici, abbiamo fatto tutto il possibile per liberarlo in fretta dall'arenaria circostante, riducendone al minimo l'esposizione agli elementi. Inquinanti atmosferici, fluttuazioni dell'umidità e agenti simili avrebbero potuto danneggiare molto quelle delicate molecole, e quanto più durava l'esposizione delle ossa tanto più era probabile che si verificassero degrado e contaminazione.

Forse proprio grazie a questo sovrappiù di attenzione – e alla rapidità di esecuzione delle analisi – sia la chimica sia la morfologia di questo secondo dinosauro sono risultate meno alterate di quelle di Brex. Come avevamo sperato, abbiamo trovato cellule incorporate in una matrice di fibre di collagene bianche nell'osso dell'ani-

Dissezione di un becco d'anatra

Nel 2007, alcuni scavatori all'opera nel Montana orientale hanno recuperato un femore ben conservato di un dinosauro dal becco d'anatra, *Brachylophosaurus canadiensis*. L'esame microscopico ha rivelato che nel femore erano presenti strutture che somigliano alle cellule chiamate osteociti, incluse in una matrice di materiale bianco fibroso che aveva l'aspetto di una proteina, il collagene (*microfotografia*). Gli esami successivi hanno confermato la presenza di tessuti molli e smentito la proposta che gli elementi somiglianti al collagene o agli osteociti potessero derivare da batteri: gli estratti dell'osso del dinosauro reagivano con anticorpi specifici anti-collagene e altre proteine che non sono prodotte dai batteri. E, in accordo con l'ipotesi che nell'osso fossero contenute proteine di dinosauro, i dati ottenuti con la spettrometria di massa, che permette di identificare le sequenze degli amminoacidi nelle proteine, somigliavano molto a quelli degli uccelli odierni, che discendono dai dinosauri, ed erano ben diversi da quelli dei batteri.

Osteociti (*le strutture ramificate rossicce*) e collagene (*matrice fibrosa biancastra*) rinvenuti in *Brachylophosaurus*.

Brachylophosaurus canadensis

male. Le cellule esibivano lunghe e sottili proiezioni ramificate che sono caratteristiche degli osteociti, e che siamo stati in grado di seguire dal corpo cellulare fino al punto in cui entravano in contatto con altre cellule. Alcune di esse contenevano persino quelle che sembravano strutture interne, compresi, forse, dei nuclei.

In più, gli estratti dell'osso del dinosauro dal becco d'anatra reagivano con anticorpi specificamente diretti contro il collagene e altre proteine che non sono fabbricate dai batteri, confutando i suggerimenti per cui le nostre strutture di tessuti molli dovevano essere semplici biofilm microbici. Inoltre, le sequenze proteiche che abbiamo ottenuto dalle ossa presentavano la massime somiglianza con quelle degli uccelli moderni, proprio come quelle di Brex. E abbiamo inviato dei campioni dell'osso del nostro dinosauro dal becco d'anatra a parecchi laboratori diversi perché effettuassero analisi indipendenti, che hanno tutte confermato i nostri risultati. Nel 2009, quando abbiamo riferito ciò che avevamo scoperto su «Science», di proteste non ho sentite.

Il nostro lavoro *non si* ferma qui. C'è ancora tanto da capire sui tessuti molli antichi. Perché questi materiali si sono conservati quando tutti i nostri modelli dicono che avrebbero dovuto degradarsi? Come avviene, realmente, il processo di fossilizzazione? Quante cose possiamo imparare su questi animali dai frammenti di molecole che si sono conservati fino ai giorni nostri? Il lavoro di decifrazione delle sequenze suggerisce che alla fine le analisi svolte su questo tipo di materiali potranno aiutarci a mettere ordine nei rapporti di parentela fra le varie specie estinte. Una volta che avremo costruito, noi e altri, librerie più vaste di sequenze antiche, e di sequenze ottenute da specie moderne a fini di confronto, potremmo riuscire a confrontare le sequenze per vedere in che modo i membri di una certa linea di discendenza sono cambiati nel tempo. E, ancorando queste sequenze nel tempo, potremmo riuscire a capire meglio la velocità con cui si sono svolti questi processi evolutivi. Progressi come questo aiuteranno gli scienziati a ricostruire il modo in cui i dinosauri e altre creature estinte rispondevano ai grandi cambiamenti ambientali, in che modo si riprendevano dagli eventi catastrofici e che cosa sia stato, alla fine, a segnarne il destino. ■

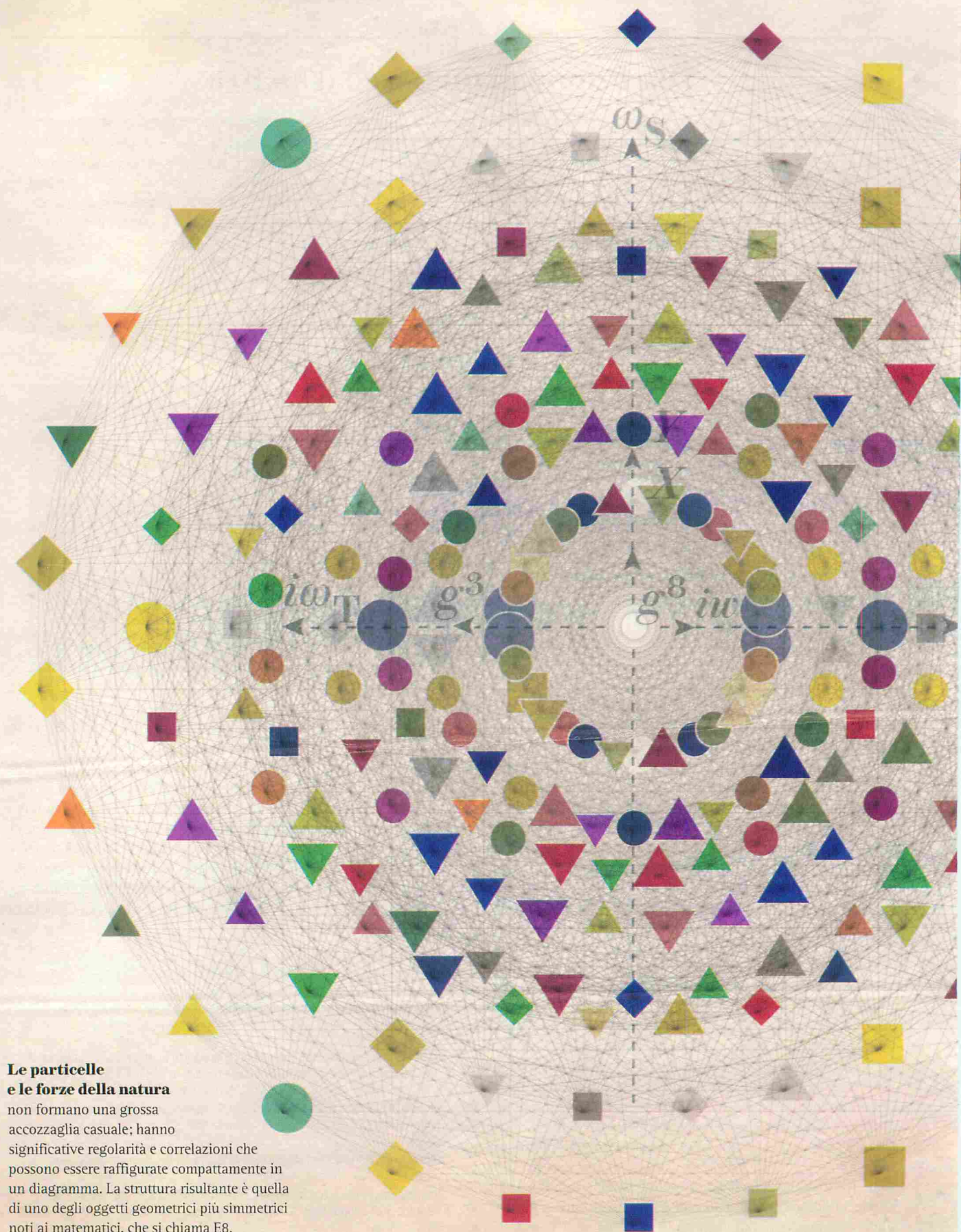
LETTURE

Preservation of Biomolecules in Cancellous Bone of *Tyrannosaurus rex*. Schweitzer H.M. e altri, in «Journal of Vertebrate Paleontology», Vol. 17, n. 2, pp. 349-359, giugno 1997.

Beta-Keratin Specific Immunological Reactivity in Feather-like Structures of the Cretaceous Alvarezsaurid, *Shuvuuia deserti*. Schweitzer M.H. e altri, in «Journal of Experimental Zoology», Vol. 285, pp. 146-157, agosto 1999.

Protein Sequences from Mastodon and *Tyrannosaurus rex* Revealed by Mass Spectrometry. Asara J.M. e altri, in «Science», Vol. 316, pp. 280-285, 13 aprile 2007.

Dinosaurian Soft Tissues Interpreted as Bacterial Biofilms. Kaye T.G. e altri, in «PLoS ONE», Vol. 3, n. 7, luglio 2008.

Biomolecular Characterization and Protein Sequences of the Campanian Hadrosaur *B. canadensis*. Schweitzer M.H. e altri, in «Science», Vol. 324, pp. 626-631, 1° maggio 2009.

Le particelle e le forze della natura non formano una grossa accozzaglia casuale; hanno significative regolarità e correlazioni che possono essere raffigurate compattamente in un diagramma. La struttura risultante è quella di uno degli oggetti geometrici più simmetrici noti ai matematici, che si chiama E8.

A. Garrett Lisi è un fisico teorico indipendente. Laureato all'Università della California a Los Angeles in fisica e matematica, ha conseguito il Ph.D. presso la sede di San Diego dello stesso ateneo.

James Owen Weatherall, concluso da poco il dottorato in fisica e matematica allo Stevens Institute of Technology, sta finendo un secondo dottorato in filosofia all'Università della California a Irvine.

FISICA

Una teoria geometrica del tutto

Al livello più profondo le particelle e le forze dell'universo sono la manifestazione di un'elegante geometria

di A. Garrett Lisi e James Owen Weatherall

La fisica moderna è iniziata con un'enorme unificazione: nel 1687 Isaac Newton mostrò che il caos di teorie diverse esistenti all'epoca, che descrivevano ogni cosa, dal moto dei pianeti alle maree, ai pendoli, era formato da altrettanti aspetti di un'unica legge universale della gravitazione. Da allora l'unificazione ha svolto un ruolo centrale nella fisica. A metà dell'Ottocento James Clerk Maxwell scoprì che l'elettricità e il magnetismo erano due facce dell'elettromagnetismo. Cent'anni dopo, l'elettromagnetismo fu unificato con la forza nucleare debole che governa la radioattività, in quella che i fisici chiamano teoria elettrodebole.

IN BREVE

Nel 2007 Garrett Lisi ha scritto l'articolo di fisica teorica più discusso dell'anno: intitolato *An Exceptionally Simple Theory of Everything*, poneva le basi per una teoria di campo unificata, ed è stato ripreso anche dalla stampa generalista.

La maggior parte dei fisici ritiene che riconciliare la relatività generale di Einstein con la meccanica quantistica richieda un radicale cambiamento della nostra idea di realtà. Lisi, invece, sostiene che l'apparato geometrico della fisica quantistica moderna può essere esteso in modo da incorporare la teoria di Einstein.

Anche se Lisi avesse torto, la sua teoria «E8» mette in evidenza sorprendenti simmetrie della fisica delle particelle che qualunque teoria unificata dovrà spiegare.

Illustrazioni di Chad Hagen

Questa tendenza all'unificazione è spinta da considerazioni pratiche, filosofiche ed estetiche. Quando ci si riesce, combinare più teorie migliora la nostra comprensione dell'universo e ci porta a scoprire cose che altrimenti non avremmo neppure sospettato. Molta dell'attività attuale in fisica delle particelle, in acceleratori come il Large Hadron Collider (LHC), riguarda la ricerca di nuovi fenomeni previsti dalla teoria elettrodebole unificata. Oltre a prevedere nuovi effetti fisici, una teoria unificata dà un'immagine più soddisfacente dal punto di vista estetico di come funziona l'universo. Molti fisici condividono l'intuizione che, al livello più profondo, tutti i fenomeni fisici si conformino a una bella struttura matematica.

La migliore teoria attuale delle forze non gravitazionali – la forza elettromagnetica, quella nucleare debole e quella nucleare forte – fu sostanzialmente completata negli anni settanta, ed è nota come modello standard. Matematicamente, la teoria descrive queste forze e particelle in termini della dinamica di eleganti oggetti geometrici che si chiamano gruppi di Lie e fibrati. Questa teoria, però, è una specie di patchwork: ogni forza è governata da un diverso oggetto geometrico. Nel corso degli anni i fisici hanno proposto diverse «grandi teorie unificate» (GUT, da *Grand Unified Theory*) in cui un unico oggetto geometrico spieghi tutte le forze, ma nessuno sa ancora quale di queste teorie sia vera, se pure una lo è.

E i fisici di oggi si trovano di fronte a un problema di unificazione ancora più profondo. In una teoria pienamente unificata anche la gravità e la materia dovrebbero combinarsi con naturalezza con le altre forze, come parti di un'unica struttura matematica: una teoria del tutto. Fin dagli anni ottanta, la teoria delle stringhe, la principale area di ricerca della fisica teorica delle particelle, ha costituito un tentativo di descrivere la gravità e il modello standard usando elaborate strutture di stringhe e membrane che vibrano in molte dimensioni.

Ma la teoria delle stringhe non è l'unica. Un'alternativa, la gravità quantistica a loop, usa un'impostazione più minimalista, vicina a quella del modello standard. Procedendo da quelle riflessioni, nel 2007 uno di noi, Lisi, ha proposto una nuova teoria unificata. L'idea fondamentale è di estendere le grandi teorie unificate della fisica delle particelle e includervi la gravità come parte di una struttura geometrica coerente. In questa teoria di campo unificata, la «teoria E8», tutte le forze e la materia sono descritte come torsioni di un unico oggetto geometrico.

In una teoria pienamente unificata anche la gravità e la materia dovrebbero combinarsi in modo naturale con tutte le altre forze

Tutte le idee nuove devono essere messe alla prova, e questa non fa eccezione. Molti fisici sono scettici, e non hanno torto. La teoria è ancora incompleta. Ma persino in questa prima fase di sviluppo rivela alcune delle belle strutture che sono all'opera ai livelli più profondi della natura, e formula previsioni per nuove particelle che LHC potrebbe trovare. Anche se i fisici non sono ancora alla fine della ricerca plurisecolare dell'unificazione, la teoria E8 è un passo importante di questo viaggio.

Ogni fibra del nostro essere

Per descrivere la teoria E8 dobbiamo come prima cosa descrivere i principi geometrici comunemente accettati che governano le forze e le particelle note. La geometria è lo studio della forma, ma nel caso della fisica fondamentale ci si potrebbe chiedere: la forma di che cosa? Platone pensava che elementi come la terra e l'aria fossero associati a minuscoli cubi e ottaedri. Analogamente, nella fisica moderna gli oggetti geometrici fondamentali associati alle particelle elementari sono forme perfette, omogenee, multidimensionali, esistenti al di fuori dello spazio ma collegate a esso. Non possiamo vedere direttamente queste forme, ma ne vediamo gli effetti.

La principale idea geometrica che soggiace al modello standard è che a ogni punto dello spazio-tempo sia connessa una serie di forme, o «fibre», ognuna corrispondente a un diverso tipo di particella. Si può visualizzare l'universo come un «Chia Pet» (una statuina di terracotta ricoperta di germogli). La superficie della statuina è analoga allo spazio-tempo, i germogli sono le fibre. L'intero oggetto geometrico – lo spazio-tempo insieme alle fibre – è detto «fibrato». Le fibre non sono nel nostro spazio, sono al di sopra; le si può pensare come spazi interni differenti, collegati a ogni punto dello spazio-tempo, con forme corrispondenti alle proprietà delle particelle.

Questa idea, introdotta nel 1918 dal matematico Hermann Weyl, è ora un principio fisico comunemente accettato. A differenza delle ondeggianti dimensioni spaziali ipotizzate dalla teoria delle stringhe, questi spazi-fibra interni hanno una forma fissa. La loro dinamica insorge dal modo in cui sono connessi con lo spazio-tempo quadridimensionale.

Il campo elettrico e il campo magnetico presenti in ogni punto dello spazio sono effetto delle fibre di forma più semplice: la circonferenza. Detta U(1) dai fisici, una circonferenza è l'esempio più semplice di gruppo di Lie (dal matematico norvegese del XIX secolo Sophus Lie). Ha un'unica simmetria: se ruotiamo un cerchio, rimane immutato. Una minima rotazione di questo tipo viene detta generatore del gruppo di Lie. Seguendo un generatore si percorre tutta la circonferenza, come se la si disegnasse con un compasso.

Il fibrato dell'elettromagnetismo è composto da cerchi collegati a ogni punto dello spazio-tempo (*si veda il box a fronte*). Il fatto essenziale è che ogni circonferenza può ruotare lievemente rispetto alle sue vicine nello spazio-tempo. La «connessione» di un fibrato descrive il modo in cui fibre vicine sono correlate secondo queste simmetrie rotatorie. I campi di forze elettrico e magnetico, che riempiono lo spazio, corrispondono alla curvatura di questo fibrato: geometricamente, i campi elettrico e magnetico consistono nel modo in cui le fibre circolari si torcono nel tempo e nello spazio. Un'onda elettromagnetica è l'ondulazione delle circonferenze nello spazio-tempo. Un quanto di un'onda elettromagnetica – un fotone – è una particella di luce che si propaga.

Ogni tipo di particella elementare corrisponde a una diversa fibra sullo spazio-tempo; il Chia Pet ha molti diversi tipi di germogli. Tutti gli elettroni derivano dalla torsione di un unico tipo di fibra, il che spiega, tra l'altro, perché tutti gli elettroni sono identici. Le fibre relative a particelle cariche, come gli elettroni, si avvolgono attorno alle fibre circolari dell'elettromagnetismo come la filettatura di una vite. La rapidità con cui la fibra di una particella si avvolge attorno alla circonferenza è uguale alla sua carica elettrica, e determina come la particella risponde alla forza elettromagnetica.

Dato che queste spire devono combaciare dopo un giro attorno alla circonferenza, le cariche sono multipli interi di un'unità standard di carica elettrica. Fra le particelle elementari della materia chiamate fermioni, gli elettroni hanno carica elettrica –1 (tre avvolgimenti), i quark up hanno carica elettrica +2/3 (due avvolgimenti nell'altro verso), i quark down hanno carica elettrica –1/3 (un avvolgimento) e i neutrini hanno carica 0. Le particelle di antimateria, come positroni e antiquark, hanno avvolgimenti nel verso

Dall'elettromagnetismo alla geometria

Una visione geometrica della natura emerge con naturalezza dal modo in cui funziona il mondo. Gli esempi più semplici e familiari sono l'elettricità e il magnetismo. Le scintille elettriche, l'attrazione magnetica e il laser sono manifestazioni diverse dei campi elettrico e magnetico che pervadono lo spazio. I fisici ritengono che ogni cosa nell'universo – tutte le forze della natura e persino tutte le particelle – sia effetto di campi diversi. Le regolarità nel comportamento di forze e particelle alludono a qualche struttura geometrica soggiacente.

Un fascio laser (*a*) consiste di campi elettrici e magnetici oscillanti (*b*), manifestazione di un unico «campo di connessione» (*c*). Questo descrive il modo in cui le «fibre» circolari di elettromagnetismo si avvolgono attorno al fascio: a ogni punto dello spazio-tempo è associata una fibra, e un fotone corrisponde all'ondulazione di questi cerchi (*d*). Una particella carica, come un elettrone, corrisponde a un'altra fibra avvolta attorno alla fibra circolare (*e*).

opposto attorno alla circonferenza elettromagnetica, il che dà loro le cariche elettriche opposte. L'immagine del fibrato spiega così ciò che sappiamo dell'elettromagnetismo. Le cariche elettriche descrivono la struttura geometrica del fibrato composito dell'elettromagnetismo e della materia, determinando così quali interazioni sono possibili tra le particelle elettricamente cariche.

Cariche diverse per forze diverse

I fisici applicano questi stessi principi alla forza nucleare debole e alla forza nucleare forte. Ognuna di queste forze ha il proprio tipo di carica e la propria particella mediatrice. La differenza tra queste forze e l'elettromagnetismo è che le forze nucleari sono descritte da fibre più complicate, composte non da una circonferenza, ma da insiemi di circonferenze che si intersecano, interagendo tra loro e con la materia a seconda dei loro avvolgimenti.

La forza debole è associata alla fibra data da un gruppo di Lie tridimensionale chiamato SU(2). La sua forma ha tre generatori, che corrispondono ai tre bosoni deboli W^+, W^- e W^3, parenti del fotone. Ogni gruppo di Lie è un ordinato groviglio multidimensionale di circonferenze che si intersecano avvolgendosi l'una attorno all'altra. Le circonferenze dei bosoni W^+ e W^- in SU(2) si avvolgono in versi opposti attorno alle circonferenze W^3 e così la loro carica debole, W, è rispettivamente +1 e −1. Questa carica debole permette loro di interagire l'uno con l'altro e con la materia.

Metà delle particelle elementari della materia interagiscono con la forza debole; le loro fibre si avvolgono attorno ai W^3 e alle altre circonferenze di SU(2). Ci sono due varietà di fermioni, destrorsi e sinistrorsi, a seconda che il loro spin sia parallelo al loro impulso o no. Solo i fermioni sinistrorsi hanno carica debole: i neutrini e i quark up sinistrorsi hanno carica debole +1/2, mentre gli elettroni e i quark down sinistrorsi hanno carica debole −1/2. Per le antiparticelle il discorso si inverte: solo le antiparticelle destrorse hanno carica debole. In altre parole, l'universo non ha una simmetria destra-sinistra: possiamo determinare se stiamo osservando un'interazione debole direttamente o attraverso uno specchio. Questa asimmetria è uno dei molti misteri che una teoria unificata cerca di spiegare.

Quando i fisici hanno unificato la forza debole e l'elettromagnetismo nella teoria elettrodebole, hanno combinato la fibra SU(2) con una circonferenza U(1). Questa specifica circonferenza rappresenta un precursore dell'elettromagnetismo detto «forza di ipercarica», e le particelle vi si avvolgono a seconda della loro ipercarica. All'interno del gruppo di Lie quadridimensionale complessivo, le circonferenze W^3 insieme alle circonferenze di ipercarica formano un toro bidimensionale. Questo toro può essere affettato in vari modi, così come ci sono diversi modi di tagliare una ciambella. Le fibre di particelle note come bosoni di Higgs si avvolgono intorno al gruppo di Lie elettrodebole rompendo la simmetria, come se uno affermasse che c'è un unico modo giusto per tagliare una ciambella. L'Higgs non si avvolge attorno a questi cerchi, che perciò corrispondono a fotoni privi di massa.

Perpendicolari a questi cerchi ce ne sono altri che dovrebbero corrispondere a un'altra particella, che i fondatori della teoria elettrodebole hanno chiamato bosone *Z*. Le fibre dei bosoni di Higgs si avvolgono attorno ai cerchi del bosone *Z*, come a quelli di W^+ e W^-, dotando di massa queste tre particelle. I fisici sperimentali scoprirono il bosone *Z* nel 1973, confermando la teoria e dimostrando come i principi geometrici abbiano conseguenze nel mondo reale.

Un buon modo per capire come funziona la teoria elettrodebole è disegnare uno schema con le cariche deboli e le ipercariche di tutte le particelle note. Dato che i matematici chiamano la carica «peso», questo schema è detto diagramma dei pesi. In esso le particelle si allineano lungo rette oblique equidistanti che corrispondono alla loro carica elettrica. La carica è quindi una precisa combinazione della carica debole e dell'ipercarica, determinata dal bosone di Higgs. Misurando l'entità della carica debole, i fisici sanno che l'angolo di queste rette, o «angolo di mescolamento debole», è di circa 30 gradi. Trovare il perché del valore di questo angolo è uno degli obiettivi più tangibili e immediati di una teoria unificata della fisica.

Fisica colorata

Nel modello standard la forza nucleare forte che lega i quark nei nuclei atomici corrisponde a un gruppo di Lie ancora più grande, SU(3). La fibra SU(3) è uno spazio interno di dimensione otto composto da otto insiemi di circonferenze che si avvolgono l'una attorno all'altra in modi complessi, generando interazioni tra otto tipi di particelle analoghe ai fotoni, dette gluoni perché fanno da «colla» (in inglese *glue*) per tenere insieme i nuclei. Per quanto la fibra sia complicata, possiamo scomporla in parti comprensibili. Al suo interno si trova un toro formato da due circonferenze non avvolte, che corrispondono a due generatori, g^3 e g^8. I restanti generatori si avvolgono attorno a questo toro, e le cariche risultanti formano uno schema esagonale nel diagramma dei pesi.

Le fibre quark si avvolgono attorno al gruppo di Lie SU(3), e le loro cariche forti formano un triangolo nel diagramma dei pesi. Queste cariche sono curiosamente designate con i nomi di tre colori: rosso, verde e blu. Un insieme di fibre-materia che forma uno schema completo, come i tre quark di un triangolo, è chiamato rappresentazione del gruppo di Lie. Il linguaggio colorito che descrive le interazioni forti è detto cromodinamica quantistica.

Insieme, la cromodinamica quantistica e il modello elettrodebole formano il modello standard della fisica della particelle, con un gruppo di Lie formato combinando SU(3), SU(2), U(1) e la materia in varie rappresentazioni. Questa struttura è descritta da un diagramma dei pesi con quattro assi relativi alle cariche, che può essere proiettato in due dimensioni e disegnato. Questo diagramma è il gioiello della corona della fisica moderna. Vi si può trovare ogni interazione tra particelle ammessa dal modello standard.

Il modello standard è un successo. Ma presenta vari interrogativi: perché la natura usa questa combinazione di gruppi di Lie? Perché esistono queste fibre di materia? Perché ci sono i bosoni di Higgs? Perché l'angolo di mescolamento debole è quello che è? Come è inclusa la gravità? E ci sono altri misteri, cui non abbiamo neppure accennato. Quark, elettroni e neutrini che costituiscono la materia comune sono detti fermioni della prima generazione; hanno sosia di seconda e terza generazione, particelle con la stessa carica ma masse molto maggiori. Come mai? E che cosa sono la materia oscura e l'energia oscura? Una teoria unificata della fisica dovrebbe rispondere a queste e ad altre domande. Il primo passo è l'unificazione della forza elettrodebole e di quella forte.

Unificazione grande (ma non completa)

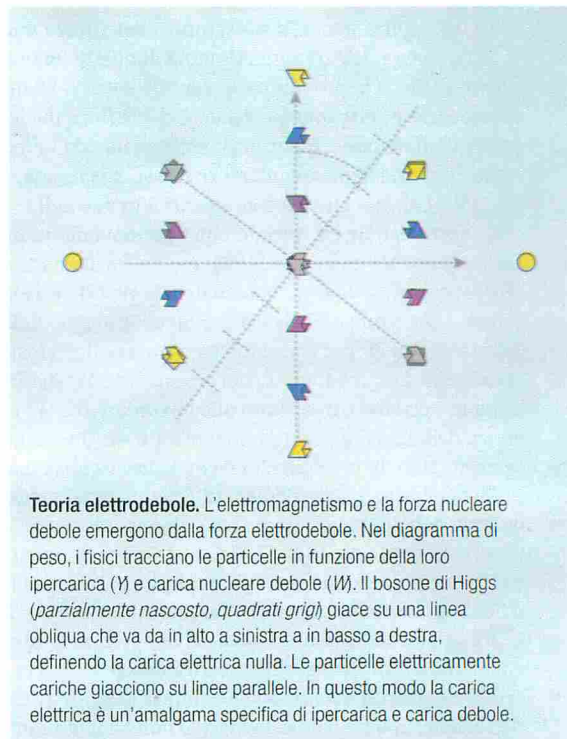
Anche se la forza elettrodebole e quella forte possono essere descritte con i fibrati, le loro fibre sono separate. I fisici si sono chiesti se ci sia un'unica fibra che le comprenda entrambe. Anziché gruppi di Lie diversi per ogni forza, ci sarebbe un unico gruppo di Lie più grande per tutte. Ci sono buoni motivi per sperarlo: l'entità della forza elettromagnetica, di quella debole e di quella forte diventa approssimativamente uguale a distanze molto brevi, il che indicherebbe che siano aspetti di un'unica forza. Una grande teoria unificata descriverebbe questa forza, riprodurrebbe il modello standard e formulerebbe previsioni verificabili.

Così i ricercatori stanno provando a riprodurre i successi già ottenuti nella scoperta del perché gli elementi chimici si allineano nella tavola periodica rappresentando gli atomi. Una volta compresa questa struttura, i chimici iniziarono a fare previsioni sulle proprietà che dovrebbero avere gli elementi e su quali nuovi elementi attendono di essere scoperti. Allo stesso modo, i fisici delle particelle stanno cercando di scoprire perché il diagramma dei pesi abbia la struttura che ha, e una volta che l'avranno scoperto saranno in grado di formulare previsioni sulle proprietà di cui godono le particelle e su quali nuove particelle possano esistere.

DIAGRAMMI DI CARICHE DI PARTICELLE

Progressione di teorie

Ogni tipo di particella elementare corrisponde a una fibra differente. Queste fibre si avvolgono a varie fibre circolari di fotoni e di particelle portatrici di forza; l'avvolgimento corrisponde alla loro carica elettrica e ad altre cariche, che i matematici chiamo «pesi». Ciascuna forza della natura ha la propria carica ed è mediata da particelle caratteristiche. Le forme delle cariche delle particelle descrivono la geometria del modo in cui le fibre si avvolgono tra loro, governando anche l'interazione delle particelle.

Le particelle elementari si dividono in due gruppi, i bosoni (che trasmettono le forze) e i fermioni (che costituiscono la materia). Ogni fermione ha diverse varietà: particella o antiparticella, sinistrorsa o destrorsa, spin su o giù, e, per i quark, uno dei tre colori. Ogni particella, definita dalla sua carica, può essere riportata in un diagramma dei pesi.

Teoria elettrodebole. L'elettromagnetismo e la forza nucleare debole emergono dalla forza elettrodebole. Nel diagramma di peso, i fisici tracciano le particelle in funzione della loro ipercarica (*Y*) e carica nucleare debole (*W*). Il bosone di Higgs (*parzialmente nascosto, quadrati grigi*) giace su una linea obliqua che va da in alto a sinistra a in basso a destra, definendo la carica elettrica nulla. Le particelle elettricamente cariche giacciono su linee parallele. In questo modo la carica elettrica è un'amalgama specifica di ipercarica e carica debole.

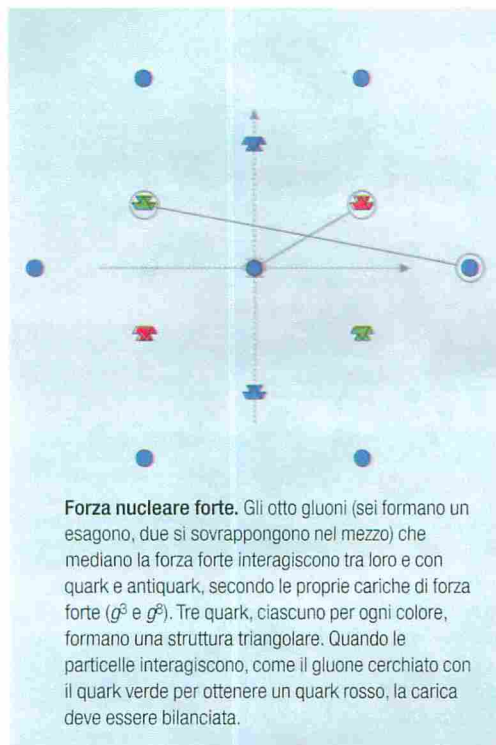
La prima teoria di questo tipo fu proposta nel 1973 da Howard Georgi e Sheldon Glashow. I due scoprirono che il gruppo di Lie complessivo del modello standard calza comodamente all'interno del gruppo di Lie SU(5) come suo sottogruppo, così come la circonferenza all'equatore è parte della sfera. Questa GUT SU(5) formulò alcune previsioni significative. Primo, che i fermioni abbiano esattamente le ipercariche che hanno, il che è un risultato tutt'altro che banale. Secondo, che l'angolo di mescolamento debole debba essere di 38 gradi, in accordo con i dati sperimentali. E infine che, oltre ai 12 bosoni del modello standard, in SU(5) ci siano 12 nuove particelle relative a forze, dette bosoni *X*.

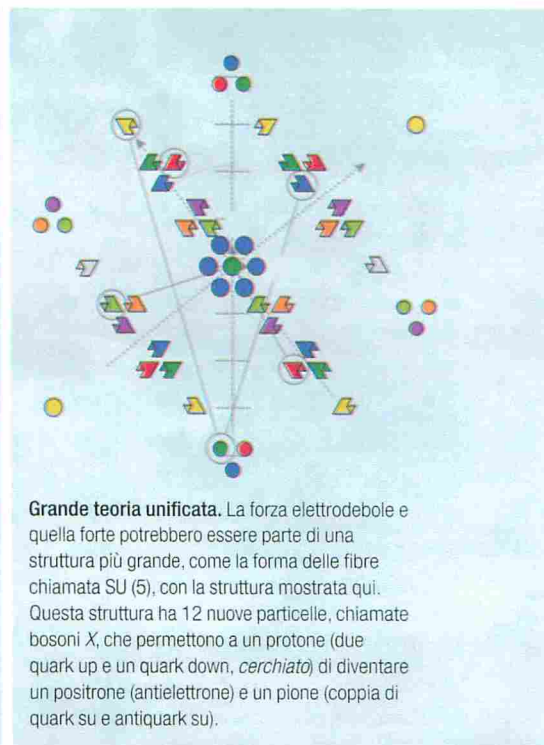
Sono stati i bosoni *X* a mettere nei guai questa idea. Queste nuove particelle permetterebbero ai protoni di decadere in particelle più leggere, cosa impossibile nel modello standard. In alcuni notevoli esperimenti, non è stato osservato il previsto decadimento dei protoni. Così i fisici hanno abbandonato la teoria.

Un'altra GUT imparentata con la teoria SU(5) e sviluppata all'incirca nello stesso periodo si basa sul gruppo di Lie Spin(10). Genera le stesse ipercariche e lo stesso angolo di mescolamento debole di SU(5) e prevede anche l'esistenza di una nuova forza, molto simile alla forza debole. Questa nuova forza «più debole», mediata da parenti dei bosoni della forza debole detti W'^{+}, W'^{-} e W'^{3}, interagisce con i fermioni destrorsi, restituendo all'universo, sulle brevi distanze, la simmetria destra-sinistra. Anche se questa teoria prevede un'abbondanza di bosoni *X* – non meno di 30 – indica anche che il decadimento dei protoni avverrebbe a un ritmo inferiore a quello della teoria SU(5). Quindi rimane plausibile.

Disegnato in un modo opportuno, il diagramma dei pesi per la GUT Spin(10) mostra che le cariche delle particelle si allineano in quattro cerchi concentrici, una disposizione insolitamente piacevole (*si veda il box di sinistra a p. 56*). La simmetria evidente in questo diagramma appare per un motivo profondo: il gruppo di Lie Spin(10) con i suoi 45 bosoni, insieme alle sue rappresentazioni di 16 fermioni e dei loro antifermioni, sono in realtà tutti parte di un unico gruppo di Lie, un gruppo speciale detto gruppo di Lie eccezionale E6. I gruppi eccezionali hanno un ruolo rilevante in matematica. Dato che c'è solo un numero limitato di modi in cui le circonferenze possono avvolgersi l'una attorno all'altra, c'è solo una manciata di tipi diversi di gruppi di Lie. I matematici ne hanno completato la classificazione un secolo fa. Ne abbiamo già incontrati due, SU e Spin, che si ritrovano spesso in fisica. E tra i gruppi di Lie ci sono cinque casi che si distinguono dagli altri: G2, F4, E6, E7 ed E8. Questi gruppi di Lie hanno strutture particolarmente intricate e nessi profondi con molti campi della matematica.

Il fatto che i bosoni e i fermioni di Spin(10) e il modello standard combaciano perfettamente con la struttura di E6, con i suoi 78 generatori, è notevole. Spinge a riesaminare il tutto. Finora i fisici hanno considerato bosoni e fermioni completamente diversi tra loro. I bosoni sono parte delle fibre-forza del gruppo di Lie, mentre i fermioni sono fibre diverse, che si avvolgono attorno ai gruppi di Lie. Ma bosoni e fermioni non potrebbero essere parti di un'unica fibra? Lo suggerisce l'immersione della GUT Spin(10) in E6. La struttura di E6 comprende entrambi i tipi di particelle. In un'unificazione radicale delle forze e della materia, bosoni e fermioni possono essere accomunati come parti di una superconnessione.

Anche se vari specialisti hanno criticato questa idea perché combina fermioni e bosoni in un modo che sulle prime sembra fondamentalmente incoerente, essa si fonda su solide basi matematiche. E la curvatura di questa superconnessione, che descrive la torsione di E6 nello spazio-tempo, descrive succintamente la dinamica e le interazioni dei bosoni e dei fermioni nel modello standard. Ma E6 non comprende i bosoni di Higgs o la gravità.

Forza nucleare forte. Gli otto gluoni (sei formano un esagono, due si sovrappongono nel mezzo) che mediano la forza forte interagiscono tra loro e con quark e antiquark, secondo le proprie cariche di forza forte (g^3 e g^8). Tre quark, ciascuno per ogni colore, formano una struttura triangolare. Quando le particelle interagiscono, come il gluone cerchiato con il quark verde per ottenere un quark rosso, la carica deve essere bilanciata.

Il modello standard. Unendo i diagrammi della forza elettrodebole e della forza forte si ottiene il modello standard della fisica delle particelle. Il diagramma completo è quadridimensionale: qui è appiattito per poterlo raffigurare sulla pagina. Tutte le particelle e le forze della natura note appaiono in gruppi regolari in questa figura. L'obiettivo principale dei fisici è spiegare la struttura del diagramma.

Grande teoria unificata. La forza elettrodebole e quella forte potrebbero essere parte di una struttura più grande, come la forma delle fibre chiamata SU (5), con la struttura mostrata qui. Questa struttura ha 12 nuove particelle, chiamate bosoni *X*, che permettono a un protone (due quark up e un quark down, *cerchiato*) di diventare un positrone (antielettrone) e un pione (coppia di quark su e antiquark su).

Portiamo la gravità a fare un giro

Einstein fu il primo a descrivere la gravità come curvatura dello spazio-tempo. All'epoca gli strumenti matematici che usava erano avanzatissimi, ma gli studiosi hanno gradualmente adottato una descrizione più moderna, fisicamente equivalente, basata su un fibrato. In ogni punto dello spazio-tempo possiamo immaginare tre righelli perpendicolari e un orologio: un sistema di riferimento. Senza il riferimento lo spazio-tempo non sarebbe «spazio-tempo» ma semplicemente un ammasso quadridimensionale senza un'idea di direzione o di distanza. Passando ad altri punti dello spazio-tempo troviamo insiemi diversi di righelli e orologi, correlati con il riferimento di partenza da una rotazione. Questa rotazione può essere una normale rotazione nello spazio oppure, dato che Einstein ha mostrato che spazio e tempo sono unificati, una rotazione dello spazio nel tempo. Il modo in cui ruota da punto a punto il riferimento è determinato dalla connessione spinoriale, meglio nota come campo gravitazionale. Il gruppo di Lie delle possibili rotazioni in tre direzioni spaziali e una temporale è Spin(1,3), il gruppo di Lie della gravità. Sentiamo la forza di gravità perché la connessione spinoriale gravitazionale ruota il nostro riferimento mentre ci muoviamo nel tempo, cercando di dirigerci verso il centro della Terra.

Così come le particelle hanno tipi diversi di carica che descrivono come interagiscono con il modello standard, hanno anche un tipo di carica che descrive come si comportano nello spazio. Esaminiamo che cosa succede se ruotiamo di 360 gradi un righello nello spazio: torna nello stato iniziale. Il righello – e il campo vettoriale gravitazionale – hanno una carica di spin spaziale pari a +1 o −1. Ma se ruotiamo di 360 gradi nello spazio un fermione, come un elettrone, non torna nello stesso stato in cui era partito. Per farlo ritornare allo stato di partenza dobbiamo ruotarlo di 720 gradi. Il fermione ha carica di spin pari a $\pm 1/2$.

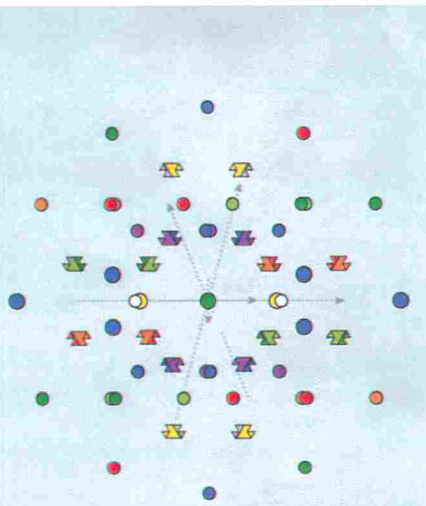
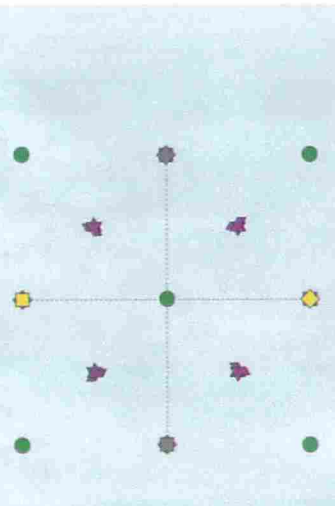
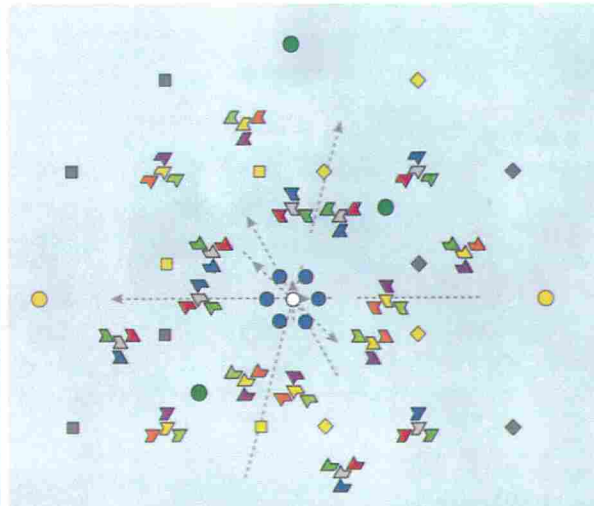
La carica di spin ha importanza nell'ambito della gravità perché, attraverso il riferimento e la connessione spinoriale, è collegata alla geometria dello spazio-tempo (*si veda il box al centro in basso*). La carica di spin spaziale di una particella è il suo momento angolare interno, e la sua carica di spin temporale è collegata con il suo moto nello spazio. I fermioni in cui spin spaziale e moto sono allineati, raffigurati in alto a destra e in basso a sinistra nel diagramma, percorrono una curva a elica destrorsa muovendosi nello spazio. I fermioni con moto e spin spaziale opposti sono sinistrorsi.

La cosa strana è che la carica di spin ha anche un ruolo inatteso per la forza nucleare debole: solo le particelle sinistrorse e le antiparticelle destrorse hanno una carica debole e interagiscono con la forza debole. Il fatto che la forza debole è sensibile alla carica di spin suggerisce che la gravità e le altre forze, per quanto appaiano diverse, abbiano in realtà una correlazione profonda.

E pluribus unum

Adesso si tratta solo di mettere insieme i pezzi. Avendo descritto la gravità con Spin(1,3) e la Grande Teoria Unificata preferita con Spin(10), è naturale unirle in un unico gruppo di Lie, Spin(11,3), il che dà una grande teoria unificata gravitazionale, secondo una terminologia introdotta nel 2009 da Roberto Percacci della SISSA di Trieste e Fabrizio Nesti dell'Università di Ferrara. È un passo importante verso una teoria completa del tutto.

Il gruppo di Lie Spin(11,3) ammette blocchi di 64 fermioni e, incredibilmente, ne prevede perfettamente le cariche di spin, elettrodebole e forte. Comprende anche automaticamente un insieme di bosoni di Higgs e il riferimento gravitazionale. La curvatura del fibrato Spin(11,3) descrive correttamente la dinamica della gravità, le altre forze e il bosone di Higgs. Comprende persino una costante cosmologica che spiega l'energia oscura cosmica. Tutto torna.

Gli scettici obiettavano che una teoria così dovrebbe essere impossibile. Sembra violare un teorema della fisica delle particelle,

Teoria E6. Un'idea ancora più grandiosa è che anche le fibre degli elettroni e delle altre particelle della materia siano sezioni di un'unica fibra. In effetti, una forma detta E6 soddisfa i requisiti. Ma questa struttura non comprende né il bosone di Higgs né la gravità.

Gravità. La forza di gravità ha due cariche: lo spin nello spazio (ω_S) e nel tempo (ω_T), collegati alla rotazione e al moto lineare. Le particelle in alto a sinistra e in basso a destra hanno un moto a spirale sinistrorso nello spazio.

Modello standard più gravità. Combinando i diagrammi del modello standard e della gravità si ottiene un diagramma con tutti i campi di particelle conosciuti. Questo diagramma mostra anche un campo di Higgs «frame» che unifica i bosoni di Higgs con il contesto gravitazionale di riferimento. Poiché solo i fermioni sinistrorsi hanno carica debole, il puzzle ha una soluzione specifica.

il teorema di Coleman-Mandula, che proibisce l'unificazione della gravità con le altre forze in un unico gruppo di Lie. Ma il teorema ha un cavillo importante: vale solo quando esiste lo spazio-tempo. Nella teoria Spin(11,3) (e nella teoria E8) la gravità è unificata con le altre forze prima che si rompa la simmetria del gruppo di Lie complessivo, quando lo spazio-tempo non esiste ancora. Il nostro universo inizia quando si rompe la simmetria, selezionando una direzione specifica nel gruppo di Lie simmetrico unificante. In questo istante la gravità diventa una forza indipendente e lo spazio-tempo inizia fragorosamente a esistere. Il teorema è così sempre soddisfatto. L'inizio dell'universo fu la rottura di questa simmetria perfetta.

Il diagramma dei pesi della teoria Spin(11,3) è perfettamente regolare e bilanciato. La sua simmetria, come quella della GUT Spin(10), allude a enti matematici eccezionali più profondi. Questa elegante configurazione di particelle è parte di quella che è forse la più bella struttura di tutta la matematica, il più grande dei gruppi di Lie semplici eccezionali, E8. Così come E6 contiene la struttura della grande teoria unificata Spin(10), con i suoi 16 fermioni, il gruppo di Lie E8 contiene la struttura della grande teoria unificata gravitazionale Spin(11,3), con i suoi 64 fermioni del modello standard, compresi i loro spin. Così la gravità e le altre forze note, il bosone di Higgs e una generazione di fermioni del modello standard sono tutti parte del campo di superconnessione unificato di un fibrato E8.

Il gruppo di Lie E8, con 248 generatori, ha una struttura meravigliosamente complessa (*si vedano le illustrazioni in basso in questa pagina*). Oltre alla gravità e alle particelle del modello standard, E8 comprende molte altre particelle, tra cui alcune che potrebbero spiegare la materia oscura cosmica e altre che potrebbero giustificare le particelle della seconda e terza generazione del modello standard. L'universo fisico emerge con naturalezza da una struttura matematica senza pari.

Collisioni con la realtà

A luglio 2010, noi che studiamo E8 abbiamo tenuto un convegno stimolante e produttivo a Banff, in Canada, e ne stiamo organizzando altri. Anche se la nuova teoria continua a essere promettente, rimane molto da fare. Dobbiamo spiegare come si sviluppano le tre generazioni di fermioni, come si mescolano e interagiscono con il bosone di Higgs per ottenere le loro masse, e come funziona esattamente la teoria E8 nel contesto della teoria quantistica.

Se la teoria E8 è corretta, è probabile che LHC individuerà alcune delle particelle previste. Se invece troverà nuove particelle che non rientrano nella struttura di E8 darà un colpo fatale alla teoria. In ogni caso, gli stessi strumenti geometrici usati per sviluppare la teoria E8 saranno utili per capire i risultati del collisore. Qualsiasi particella si scopra avrà un posto nel diagramma dei pesi e ci avvicinerà a una struttura geometrica che si trova al cuore della natura. La fisica delle particelle sta entrando in una fase molto stimolante.

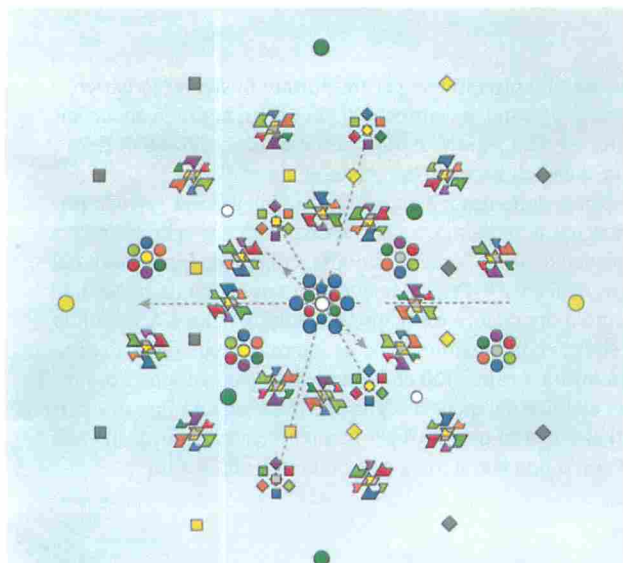
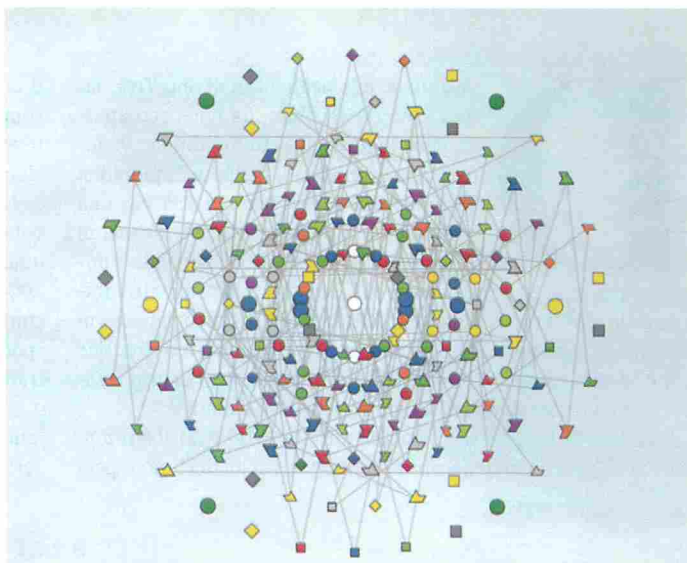
Che la teoria E8 sia o meno la teoria del tutto, di sicuro ci sta mostrando la via verso questa teoria. Se effettivamente la struttura dell'universo alla scala minima delle particelle elementari è descritta da E8, con i suoi 248 insiemi di circonferenze che si avvolgono reciprocamente con una regolarità elegantissima, torcendosi e danzando nello spazio-tempo in tutti i modi possibili, avremo ottenuto un'unificazione completa e avremo la soddisfazione di sapere che viviamo in un universo eccezionalmente bello. ■

LETTURE

Deep Down Things. Schumm B.A., Johns Hopkins University Press, 2004.

Lie Groups, Physics, and Geometry. Gilmore R., Cambridge University Press, 2008.

The Beauty of Particle Physics. Conferenza TED: **www.ted.com/index.php/talks/garrett_lisi_on_his_theory_of_everything.html.**

An Exceptionally Simple Theory of Everything. Garrett Lisi A. **http://arxiv.org/abs/0711.0770.**

Integrare E8. Studiando il puzzle parzialmente assemblato del modello standard e della gravità, vediamo che le cariche di tutte le particelle si incastrano alla perfezione in una struttura che, probabilmente, è la più complicata delle strutture matematiche conosciute: il gruppo di Lie E8. Questo gruppo ha anche particelle esotiche come fermioni specchio (*glifi più piccoli*) e bosoni che mediano forze ancora non osservate.

Teoria E8. L'integrazione con il gruppo E8 suggerisce che ogni fibra – ogni forza, ogni particella conosciuta di materia e ogni gruppo di particelle supplementari che potrebbero spiegare la materia oscura – potrebbe essere parte di questa struttura. E8 ha anche una simmetria speciale, chiamata trialità, che mette in relazione le sue parti. Tutto ciò potrebbe spiegare perché i fermioni hanno tre varietà. La teoria E8 potrebbe essere la teoria del tutto che i fisici cercano da molto tempo.

David H. Freedman scrive di scienza, economia e tecnologia da oltre trent'anni su testate come «Atlantic», «Newsweek», «New York Times», «Science» e «Technology Review».

SPAZIO

Capitalisti in orbita

Perché l'ipotesi che la NASA abbandoni i voli con equipaggio in orbita bassa potrebbe far (finalmente) decollare i viaggi spaziali di massa

di David H. Freedman

Due anni fa, uno degli attori di *Star Trek*, James «Scotty» Doohan, da poco scomparso, ebbe la possibilità di un'ultima avventura. A offrirgliela era la Space Exploration Technologies Corporation, o SpaceX, una società privata con sede a Hawthorne, in California, fondata nel 2002 per andare dove nessuna impresa privata si era mai avventurata prima: in orbita intorno alla Terra. Nell'agosto 2008, la SpaceX caricò le ceneri di Doohan sul terzo volo di prova del suo razzo Falcon 1, ma circa due minuti dopo il lancio il primo stadio del vettore urtò contro il secondo: fu il terzo fallimento della SpaceX su tre tentativi.

Da allora la SpaceX si è ampiamente rifatta (*si veda il box a p. 60*), ma all'epoca non mancarono i commenti acidi dei tanti esperti aerospaziali convinti che per trasportare in sicurezza carico, e soprattutto persone, a centinaia di chilometri sopra la superficie terrestre, servano legioni di ingegneri e tecnici, miliardi di finanziamenti e cicli di sviluppo lunghi decenni.

Lo spazio, dopo tutto, è un osso duro. Una piccola azienda privata riuscirà, al massimo, a portare una navicella sperimentale a qualche decina di chilometri di quota, come fece Burt Rutan nel 2004 per vincere l'X-Prize. Ma quello era un gioco da ragazzi, in confronto a operazioni come quelle condotte dalla NASA con lo space shuttle e la Stazione spaziale internazionale (ISS). Per entrare in orbita, i primi 100 chilometri sono solo «il vialetto d'ingresso», alla fine del quale bisogna accelerare ancora fino ai 7 chilometri al secondo necessari per mantenere il carico intorno alla Terra in un'orbita che si trova 300 chilometri più in alto.

IN BREVE

Lo shuttle se ne va. Quando la NASA ritirerà gli shuttle, entro il 2011, gli Stati Uniti non avranno più mezzi per portare astronauti o rifornimenti sulla Stazione spaziale internazionale.

Arrivano i privati. L'Amministrazione Obama ha cancellato il programma Constellation, il successore degli shuttle, puntando su aziende private per il trasporto degli astronauti.

Grandi speranze... In teoria, un sostegno pubblico iniziale a imprenditori coraggiosi potrebbe stimolare la nascita di un'economia centrata sui viaggi spaziali, grazie alla competizione che farebbe abbassare i prezzi sempre di più.

... e grandi rischi. Ma nessuno sa se le start-up riusciranno davvero a costruire veicoli spaziali sicuri, economici e affidabili. Se fallissero, l'esplorazione umana dello spazio potrebbe regredire di decenni.

John Mattos

Che cosa aveva in mente, allora, l'Amministrazione Obama un anno fa, quando ha annunciato che la NASA dovrebbe, di fatto, uscire dal business del volo spaziale con uomini a bordo, affidandolo all'industria privata? Secondo il piano, il cosiddetto «Obamaspace», la NASA rinuncia alla maggior parte dei 9 miliardi di dollari investiti finora nel programma Constellation, destinato a sviluppare un veicolo che sostituisse lo shuttle, trasportando uomini e rifornimenti fino alla Stazione spaziale e, forse, alla Luna. Al suo posto, l'agenzia contribuirà a finanziare start-up come la SpaceX, comprando poi da loro il trasporto alla ISS.

È un piano ingenuo e rischioso, ha urlato un coro di voci, tra cui quella dell'ex astronauta e icona spaziale Neil Armstrong, che è stato fra i primi a inorridire all'idea che il settore privato sia pronto a sostituire la NASA. «Serviranno molti anni e investimenti sostanziosi per raggiungere il necessario livello di sicurezza e affidabilità», ha dichiarato. Lasciare il trasporto in orbita bassa nelle mani di società private, insistono i critici, è come riportare indietro l'orologio dell'esplorazione umana dello spazio. Se le aziende private dovessero rinunciare, magari a causa di una catastrofe, l'impegno per affermare la presenza umana nello spazio potrebbe bloccarsi a lungo o addirittura fermarsi per sempre. Una volta smantellata l'enorme macchina della NASA per il volo umano, ricostruirla potrebbe richiedere più tempo e denaro di quanto chiunque sia disposto a spendere. E tuttavia, dopo grandi polemiche, in autunno il Congresso ha approvato l'Obamaspace. [In realtà il piano del Congresso apporta modifiche importanti alle proposte della Casa Bianca, tra cui il recupero dello sviluppo della capsula Orion, che faceva parte del programma Constellation, e l'impegno a realizzare un *heavy lift vehicle*, o HLV, un velivolo per il trasporto pesante, pronto a raggiungere la ISS entro il 2016, N.d.R.]

Ma che si tratti di una scommessa rischiosa non significa che sia una scommessa *sbagliata*. Ci sono ragioni per credere che le società private possano arrivare rapidamente a mettere persone in orbita, e in modo più economico e affidabile di quanto potrebbe fare un grande programma della NASA. Questo, a sua volta, potrebbe portare a un traguardo che a quasi quarant'anni dall'ultima missione Apollo la maggior parte di noi ha smesso di sognare: l'accesso all'orbita terrestre non solo per un piccolo gruppo di astronauti professionisti, ma per legioni di scienziati e ingegneri, e persino per chi vorrebbe solo vivere qualche giorno nello spazio. L'ondata di visitatori spaziali potrebbe quindi far decollare un'economia orbitale in grado di sostenersi da sola, collocando l'umanità nello spazio più stabilmente di quanto potrebbe fare un programma statale.

IL PRIMO SUCCESSO PRIVATO

Andata, ritorno e recupero

L'8 dicembre scorso la SpaceX è diventata la prima azienda privata della storia a portare un modulo in orbita bassa, farlo rientrare e recuperarlo: un'importante dimostrazione delle capacità dei privati in campo spaziale. Lanciata dal vettore Falcon 9 (*sopra, il decollo*), la capsula Dragon ha compiuto due orbite intorno alla Terra ed è ammarata nell'Oceano Pacifico appesa a tre paracadute. È stato il primo volo del programma COTS (Commercial Orbital Transportation Service) della NASA, destinato a sviluppare servizi commerciali di trasporto per la Stazione spaziale internazionale. La NASA ha già acquistato dalla SpaceX 12 voli cargo verso la ISS da effettuare dopo il ritiro degli space shuttle. (*cdg*)

Tony Gray e Kevin O'Connell/NASA

Un nuovo modo di fare spazio

Puntare sul settore commerciale per costruire razzi e navette spaziali non è una novità. Gli straordinari veicoli che hanno trasportato gli astronauti della NASA sono sempre stati sviluppati e costruiti da società private. Quello che cambia è il modo in cui la NASA lavorerà con i privati. L'agenzia ha sempre lavorato con i fornitori sulla base di accordi *cost-plus*, vale a dire che la NASA rimborsa ogni spesa e poi aggiunge un profitto garantito. Questo tipo di contratti fa crescere i costi e la complessità, perché quando al progetto si aggiungono più capacità l'appaltatore riceve più denaro, e l'agenzia riduce il rischio di essere un giorno accusata di aver compromesso una missione per avarizia. E questa è anche la ragione, secondo molti, per cui i progetti di volo umano della NASA sono rimasti impantanati nelle orbite basse per quasi trent'anni, con un costo di oltre un miliardo di dollari per ogni volo dello shuttle: una spesa così enorme da limitare moltissimo il numero dei voli. Con il programma Constellation, secondo i critici, ci saremmo dovuti aspettare lo stesso tipo di spreco.

Un nuovo modello di finanziamento «paga-per-il-prodotto» non sarebbe senza precedenti, osserva Paul Guthrie, analista di una società di consulenza per l'industria spaziale, che sottolinea come il Governo degli Stati Uniti si sia sempre impegnato in forti investimenti in settori industriali scientifici e tecnologici dai profitti incerti, ma potenzialmente ingenti. Quegli investimenti hanno aperto la strada alle aziende biotech, informatiche e dell'*on line*, le quali che, come oggi il business del volo orbitale, nel loro stadio iniziale hanno dovuto affrontare sfide tecnologiche e commerciali impegnative. Le hanno superate grazie a programmi governativi che funzionavano in modo simile a quello pensato ora per la NASA:

Volare alto

Il volo spaziale orbitale non è solo questione di raggiungere una certa quota: l'oggetto deve viaggiare estremamente veloce per evitare di ricadere a terra. Per questo un volo balistico «su-e-giù», come quello di SpaceShipOne nel 2004, è molto più facile che portare un modulo in orbita bassa terrestre, come ha fatto il Falcon 9 a dicembre 2010. E spedire una capsula fuori dell'orbita terrestre, verso la Luna o Marte, è ancora più difficile.

Energia per l'orbita: In questo riquadro, l'ammontare totale di energia richiesta per lanciare ogni veicolo è stato calcolato sommando l'energia potenziale e cinetica dell'oggetto in volo. Sono state quindi ignorate importanti complicazioni, come la resistenza dell'aria. Per cui le cifre riportate vanno considerate come una prima approssimazione.

Satellite geosincrono
Altezza: 35.800 chilometri
Massa: 6000 chilogrammi
Velocità: 2600 metri al secondo
Energia: 56,5 megajoule per chilogrammo

Orbita lunare
384.000 chilometri

Apollo 11
(posizione alla fine dell'ultima accensione del motore)
Altezza: 1920 km
Massa: 40.000 kg
Velocità: 10.800 m/s
Energia: 73 MJ/kg

Hubble Space Telescope
610 km

Space shuttle
185-643 km

Falcon 9
Altezza: 350 km
Massa: 10.000 kg
Velocità: 7400 m/s
Energia: 30 MJ/kg

600 km
500 km
400 km
300 km
200 km
100 km

SpaceShipOne
Altezza: 100 km
Massa: 2000 kg
Velocità: 0 m/s
Energia: 1 MJ/kg

Stazione spaziale internazionale
400 km

Boeing 777
Altezza: 12 km
Massa: 160.000 kg
Velocità: 248 m/s
Energia: 0,2 MJ/kg

Orbita geosincrona e oltre
Più di 35.800 km

Orbita terrestre media
2000-35.800 km

Orbita terrestre bassa
180-2000 km

Terra

Suborbitale
Orbita terrestre
Verso l'orbita lunare

dando ai privati denaro per lo sviluppo e servendo loro come cliente garantito mentre miglioravano i prodotti e sviluppavano economie di scala. Il Department of Defense, per esempio, è stato il finanziatore e l'acquirente principale di molti fabbricanti di microchip finché la legge di Moore e la crescita nella competizione hanno portato a impressionanti progressi nella capacità dei processori e alla riduzione dei loro prezzi.

Nessuno sa se c'è una legge di Moore per i viaggi spaziali, ma certamente non ce n'è alcuna che esiga che rimangano costosi per sempre. Secondo l'Obamaspace, le società in competizione tra loro sarebbero costrette a trovare modi per risparmiare denaro. Se sfondano il budget fissato dalla NASA, i soldi in più escono dalle loro tasche, se invece restano sotto il preventivo si tengono la differenza. In altre parole, un penny risparmiato è un penny guadagnato, e non un penny del Governo in più da aggiungere all'incasso.

La SpaceX, oggi chiaramente leader della nuova industria spaziale, sta già sfruttando a fondo questa opportunità. Ha tagliato il costo dei bulloni di alluminio anodizzato da 15 dollari a 30 centesimi, costruendoseli da sé. Ha ridotto il costo del materiale in carbonio usato per gli schermi termici, realizzandone una nuova formulazione ed evitando così di acquistarlo dall'unico fornitore sul mercato. Ha eliminato la necessità di sborsare grosse quantità di denaro per i condotti rastremati su misura, usati nello shuttle come tubi di scarico privi di turbolenze, sostituendoli con un nuovo sistema che fluidifica il movimento dei gas ed è basato su tubi commerciali di diametro costante montati a spirale.

Don Foley

Ma per stimolare innovazioni del genere la NASA deve cambiare metodo. Finora l'agenzia ha detto ai fornitori esattamente come voleva fossero costruiti i suoi veicoli spaziali, ma d'ora in poi dovrà solo dichiarare che cosa dovrebbe fare un sistema completo, per esempio portare in sicurezza in orbita una certa massa. «Faremo una lista di obiettivi generali lasciando ai fornitori la massima flessibilità su come raggiungerli» spiega Phil McAlister, membro del team NASA di analisi dei programmi «A specifici stadi di avanzamento, controlleremo che i parametri richiesti siano stati rispettati». Per aiutare i privati a mantenere il veicolo il più possibile semplice ed efficiente, il nuovo piano rinuncia anche al requisito richiesto a Constellation, vale a dire che sia in grado di proseguire per la Luna. La missione ora è solo portare uomini e cose alla stazione spaziale e ritorno, in sicurezza ed economicamente.

La cancellazione delle missioni lunari ha suscitato polemiche, ma secondo i sostenitori dell'Obamaspace quelle missioni erano solo le prove generali del vero obiettivo del programma di esplorazione: portare un equipaggio umano su Marte. Inoltre, sottolineano sempre i suoi sostenitori, il piano non prevede che la NASA rinunci ai suoi programmi di lungo termine di esplorazione umana, ma riconosce implicitamente che un viaggio andata e ritorno per Marte richiederà progressi tecnologici molto più sostanziali di quelli che avrebbe potuto offrire Constellation. Liberando la NASA dall'impegno del trasporto in orbita bassa, il piano darebbe insomma mano libera all'agenzia per elaborare quelli, e altri progressi ancora. Sotto certi aspetti, sarebbe quindi un tentativo di far ritornare la NASA ai giorni di gloria degli anni sessanta, facendola ridiventare una vera agenzia di ricerca e sviluppo e delegando a fornitori privati la parte di routine, cioè il trasporto in orbita bassa.

I privati dovranno riuscire a realizzare velivoli spaziali altrettanto affidabili di quelli sviluppati dalla NASA ma a costi abbastanza bassi da garantirsi un profitto

Piccole NASA crescono?

Incentivi, controlli meno stringenti e conseguenti risparmi non sembreranno però un'idea tanto brillante se le aziende non riusciranno a realizzare un veicolo orbitale sicuro e affidabile come quello che avrebbe potuto produrre il progetto Constellation, sia pure a costi più alti. Ce la faranno i privati? È presto per esserne certi, ma i segnali positivi ci sono. Nel settembre 2008, solo un mese dopo il fallimento del lancio con le ceneri di Doohan a bordo, il Falcon 1 della SpaceX è diventato il primo razzo a combustibile liquido privato a raggiungere l'orbita, un successo a cui l'azienda fondata da Elon Musk, ex ragazzo prodigio della *new economy* (è stato il creatore di PayPal) ha fatto seguire gli ancora più interessanti risultati del Falcon 9, il vettore a cui intende affidare il trasporto di esseri umani a bordo della capsula Dragon.

Tuttavia i successi della SpaceX, pur essendo incoraggianti, sono finora l'unica prova concreta che l'industria privata sia all'altezza della sfida. L'altra azienda selezionata dalla NASA per la produzione di veicoli orbitali è la Orbital Sciences Corporation di Dulles, in Virginia, che al momento ha poco da mostrare. Entrambe le società stanno assumendo alcuni dei più stimati manager e ingegneri dell'industria spaziale, ma è impossibile prevedere se una delle due alla fine riuscirà a presentarsi con un buon veicolo, realizzato con un budget ridotto e senza una massa di ingegneri della NASA che forniscono specifiche dettagliate.

Secondo John M. Logsdon, ex direttore dello Space Policy Institute della George Washington University, probabilmente i veicoli che saranno prodotti avranno un costo inferiore a quello che avrebbero avuto nel progetto Constellation, ma almeno per i prossimi cinque o dieci anni forse non saranno altrettanto affidabili ed efficienti. «Probabilmente ci sarà una certa riduzione dei costi nella prima fase a causa della ridotta presenza governativa», dice. «Ma nel round successivo si assisterà all'arrivo di nuovi protagonisti, ed è allora che dovrebbero arrivare le vere innovazioni». Fra le nuove compagnie spaziali pronte a scendere in lizza ci sono la Blue Origin del fondatore di Amazon, Jeff Bezos; la Armadillo Aerospace, del magnate del software John Carmack, e la Xcor Aerospace, fondata da veterani dell'industria dei razzi (*si veda il box a fronte*).

Inoltre l'industria non fabbricherà solo veicoli da trasporto. Se l'abbassamento dei costi farà arrivare più persone nello spazio, ci sarà bisogno di un luogo per ospitarle, un problema di alloggio che la Bigelow Aereospace di Las Vegas immagina di risolvere con le sue strutture gonfiabili che possono essere trasportate nello spazio e lì assemblate per diventare spazi abitativi orbitali. [L'obiettivo della Bigelow Aereospace è realizzare una stazione spaziale privata costituita da due moduli gonfiabili, il primo dei quali, Sundancer-1, potrebbe partire nel 2014, N.d.R.]

Le nuove opportunità interessano anche le industrie aerospaziali tradizionali. Sappiamo che queste grandi compagnie sanno costruire ottimi veicoli spaziali, la questione è se sanno farlo anche in un regime di prezzi fissi e pressioni per tagliare i costi. La United Launch Alliance (ULA), una joint venture fra Boeing e Lockheed Martin, lancia già carichi in orbita a 100 milioni di dollari per lancio: pochi, rispetto alla NASA. E benché sia quattro volte di più di quanto intende fatturare la SpaceX, la ULA può vantare un ottimo record di affidabilità. «Lavorando a prezzo fisso e senza il cliente che ci controlla ogni minima cosa, anche noi possiamo lavorare in economia», dice Jayne Schnaars, vice presidente per lo sviluppo dell'esplorazione spaziale alla Boeing. [La Boeing sta lavorando allo sviluppo di una capsula per trasportare persone alla Stazione spaziale internazionale o alla stazione commerciale della Bigelow; denominata CST-100, dovrebbe ospitare fino a sette astronauti ed essere compatibile con vari lanciatori, incluso il Falcon 9 della SpaceX, N.d.R.]

L'economia orbitale

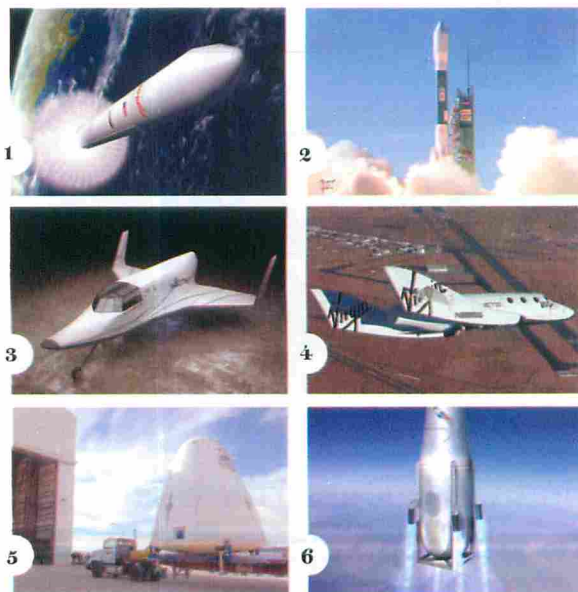
Il più importante effetto potenziale dell'Obamaspace sarebbe quello di abbassare i costi dei voli orbitali tanto da creare un circolo virtuoso: più i prezzi calano più gente vola, più gente vola più l'economia di scala e l'aumentata concorrenza fanno abbassare i prezzi, e così via. Il processo sarà ulteriormente rafforzato quando ci sarà abbastanza gente in orbita da giustificare la realizzazione di altre infrastrutture – più posti dove stare e più cose da fare – il che attrarrebbe ancora più gente e porterebbe ad ancora più infrastrutture. E voilà, ecco nata un'economia orbitale.

Ma la domanda di biglietti per un volo spaziale sarà abbastanza cospicua da trasformare i trasporti orbitali in un affare redditizio, stimolando concorrenza, taglio dei costi e innovazione? Senza un chiaro percorso che conduca a profitti reali, oltre quello che è disposta a pagare la NASA, non c'è futuro per il settore privato nello spazio. «È possibile che lo spazio sia il prossimo Internet, che darà

NUOVI LANCIATORI

Verso la rampa

Sono oltre una decina le aziende che hanno annunciato la loro intenzione di lanciare uomini nello spazio. Oltre che a bordo del Falcon 9 della SpaceX, gli astronauti potrebbero raggiungere la Stazione spaziale sul Taurus 2 (1) della Orbital Science Corporation o su una variante del razzo Delta (2), costruito dalla United Launch Alliance, una joint venture fra Boeing and Lockheed Martin. Oppure i turisti potrebbero acquistare il biglietto per un volo suborbitale su veicoli costruiti dalla Xcor (3), dalla Virgin Galactic (4), da Blue Origin (5) o dalla Armadillo Aerospace (6).

Orbital Sciences Corporation (1); United Launch Alliance (2); Mike Massee/Xcor (3); Mark Greenberg/Virgin Galactic (4); Blue Origin (5); Armadillo Aerospace (6)

agli Stati Uniti un lungo periodo di crescita economica – dice Guthrie – ma l'interrogativo è come si svilupperà questo mercato».

Un mercato in effetti esiste già, quello che adesso viene servito dallo shuttle. Gli Stati Uniti e molte altre nazioni continueranno ad aver bisogno di inviare scienziati e tecnici alla Stazione spaziale internazionale per condurre ricerche mediche, biologiche e chimiche in condizioni di microgravità o per installare e sperimentare dispositivi per l'osservazione della Terra (le nazioni partner della Stazione hanno concordato il prolungamento della vita della ISS fino ad almeno il 2020). Se una nuova e competitiva industria spaziale potesse abbassare il costo di un volo alla ISS fino a 5 milioni di dollari, più nazioni invierebbero più scienziati. Tuttavia anche un prezzo così ribassato potrebbe essere troppo alto per la maggior parte delle istituzioni di ricerca. I viaggiatori potrebbero essere decine all'anno, non certo centinaia.

Le prospettive di una fiorente economia orbitale crescerebbero notevolmente se produrre a gravità zero fosse redditizio. Al momento, però, non c'è nulla che lo dimostri. La quasi assenza di gravità – in effetti la gravità c'è, ma gli oggetti in orbita sono in caduta libera e non la «sentono» – permette di fabbricare cristalli insolitamente grandi e puri, sfere per cuscinetti e altri oggetti simili dalla forma perfetta, misture di prodotti chimici perfettamente eterogenee. Ma per quanto possa essere alto il prezzo a cui vendere questi insoliti prodotti, il costo di insediare e far funzionare una fabbrica in cielo, portando su i rifornimenti e riportando giù i manufatti, supererebbe quel prezzo di migliaia di volte. «Persino se ci fosse un asteroide fatto di diamanti vicino a noi, il costo per raggiungerlo, scavare e portare i pezzi sulla Terra probabilmente non giustificherebbe l'impresa», dice Lon Levin, cofondatore di XM Satellite Radio e presidente di SkySevenVentures, un fondo di capitali di rischio che investe in start-up spaziali e di altro tipo.

La possibilità dell'esistenza di prodotti di valore inestimabile, fabbricabili solo in microgravità, che aspettano solo di essere scoperti, dovrebbe garantire che alcuni viaggi in orbita saranno prenotati da ricercatori industriali. «I costi spaventosi dei voli sono ciò che ha limitato finora questo tipo di ricerca», dice Schnaars, della Boeing. «Quando si abbasseranno, si sperimenterà sempre di più, e sperimentando di più aumenterà la probabilità di trovare un'applicazione di successo». Basterebbe anche solo una di queste scoperte, osserva Guthrie, per mettere in moto un'operazione industriale grande abbastanza da innescare l'economia orbitale.

Secondo gran pare degli esperti, tuttavia, le prospettive migliori per una rapida crescita del mercato vengono dal turismo spaziale. Dal 2001 a oggi la Russia ha portato a bordo della Soyuz otto turisti fino alla ISS, a prezzi dai 30 ai 50 milioni di dollari a volo. «Di una cosa sola siamo sicuri: la domanda di turisti verso la Stazione spaziale non è zero», dice Levin. «Sappiamo che c'è un gruppo di persone disposte a pagare da 10 a 20 milioni di dollari per andarci; se il prezzo calasse intorno a un milione di dollari, potrebbero essere centinaia le persone disposte a comprare il biglietto?».

Levin e altri osservatori fanno però notare che c'è anche una macabra roulette all'opera: la possibilità che una futura industria del turismo spaziale in espansione incappi in un incidente che uccida uno o più dei suoi clienti. Se avvenisse, il business del turismo spaziale evaporerebbe all'istante, afferma Sherman McCorkle, amministratore delegato della società di consulenze Technology Ventures, di Albuquerque, circa 200 chilometri a nord dal luogo in cui lo Stato del New Mexico sta costruendo uno spazioporto da 300 milioni di dollari, in anticipazione del boom del turismo spaziale. «Se il settimo volo turistico cadesse è altamente probabile che non ce ne sia un ottavo per molti e molti anni», dice McCorkie. «Gli imprenditori sono abituati a fronteggiare gli insuccessi, ma con il turismo spaziale non funzionerebbe come con i satelliti per telecomunicazioni». Ma secondo Scott Tibbitts, dell'eSpace Center for Space Entrepreneurship, un ampio segmento di potenziale mercato non si farebbe dissuadere da rischi o catastrofi. «Nel 1996, quando nove persone morirono nel tentativo di scalare l'Everest, le vendite di spedizioni verso quella montagna salirono alle stelle. La tolleranza per i rischi dei viaggi spaziali crescerà, specialmente quando i prezzi saranno scesi fra 1 e 5 milioni a posto».

Il turismo d'avventura per multimilionari potrebbe sembrare un appiglio davvero debole a cui appendere i sogni di esplorazione spaziale dell'umanità, ma ha un certo senso. Il capitalismo si è dimostrato un potentissimo strumento di innovazione, e la spinta ad andare oltre la nostra casa terrestre è forse il progetto più ambizioso e innovativo mai concepito. Il miglior modo per realizzare il secondo, forse, è fargli dare un passaggio dal primo. ■

LETTURE

Rocketeers: How a Visionary Band of Business Leaders, Engineers, and Pilots Is Boldly Privatizing Space. Belfiore M., Smithsonian, 2007.

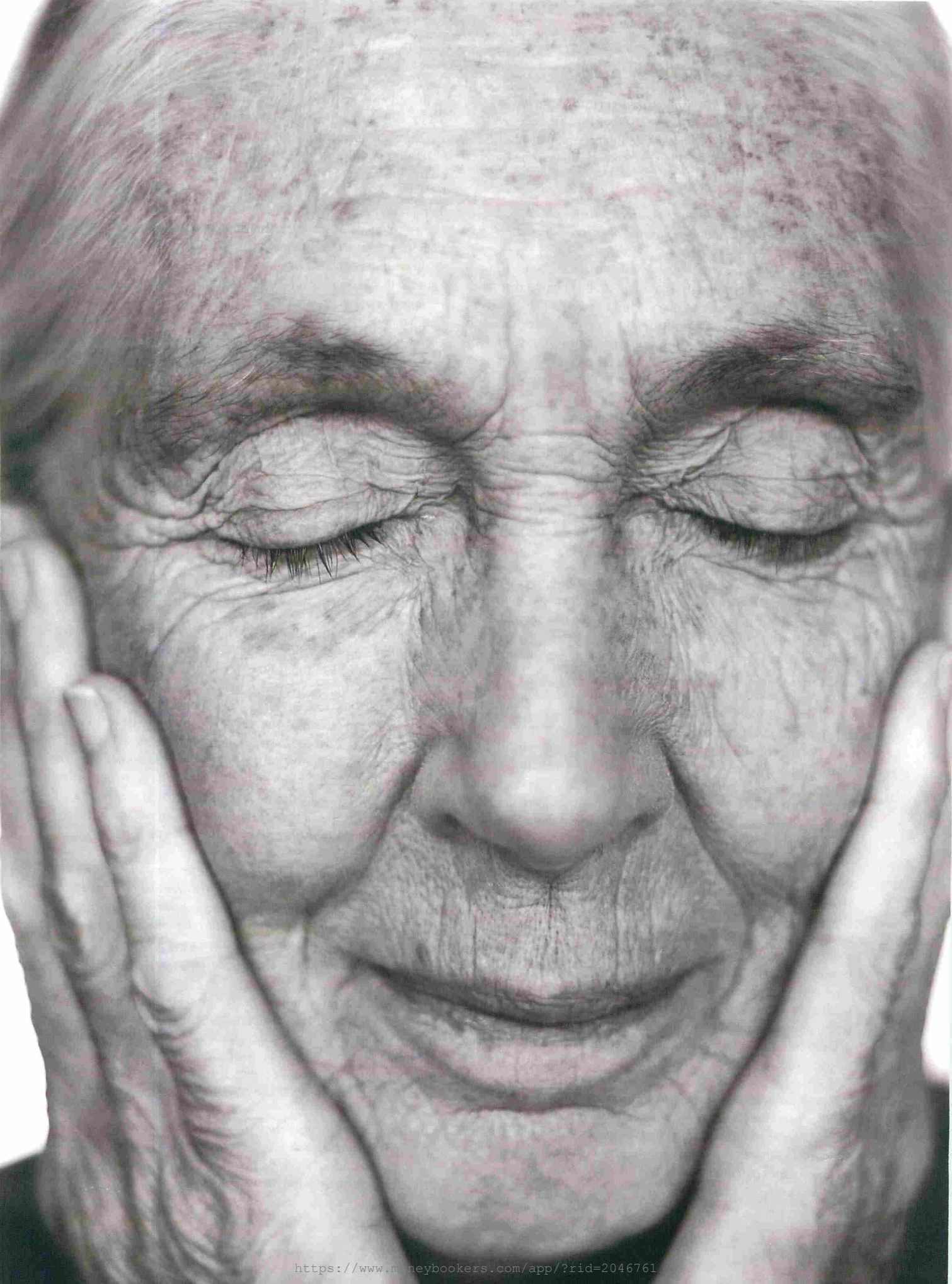
Review of U.S. Human Spaceflight Plans Committee – Final Report. Presidenza di Norman R. Augustine, ottobre 2009. **www.nasa.gov/offices/hsf/home.**

Jane della giungla

La primatologa Jane Goodall condivide alcune riflessioni sui suoi cinquant'anni tra gli scimpanzè

Intervista di Kate Wong

Il 4 luglio 1960 la ventiseienne Jane Goodall arrivò alla riserva di Gombe Stream, in Tanzania, per studiare il comportamento degli scimpanzè in natura. Assunta dal famoso paleoantropologo Louis Leakey, secondo il quale il comportamento delle grandi scimmie antropomorfe poteva fornire informazioni sugli antenati della nostra specie, all'epoca la ragazza non aveva alcuna credenziale scientifica, benché in seguito si sia specializzata all'Università di Cambridge. Con i suoi metodi scientificamente poco ortodossi rispetto alle convenzioni di quegli anni, la Goodall riuscì a cogliere aspetti del comportamento degli scimpanzè che erano sfuggiti ad altri ricercatori. Attraverso le sue osservazioni delle emozionanti vite di Fifi, Mike, Flo, David Greybeard e altri loro simili, Jane Goodall dimostrò che gli scimpanzè condividono con noi molti tratti in precedenza ritenuti esclusivi degli esseri umani. Oggi la Goodall, prossima a compiere 77 anni (è nata il 3 aprile 1934), lavora per salvare gli scimpanzè in via di estinzione e il loro habitat.

Philipp Horak/Redux Pictures

La prima volta che andò a Gombe, quali erano le sue idee a proposito degli scimpanzè? Che cosa si aspettava di trovare?

Mi aspettavo che fossero assai intelligenti, ma per quanto riguarda il loro modo di vivere allo stato selvatico o la loro struttura sociale nessuno ne sapeva nulla.

Quando cominciò le sue osservazioni, ci volle un po' di tempo perché gli scimpanzè la accettassero. Come fece per metterli a loro agio?

Mi sedevo per terra e scavavo piccole buche, o facevo finta di mangiare foglie. Facevo qualsiasi cosa in modo che non pensassero che fossi interessata a loro, ma che mi trovassi lì per caso. Non ho mai provato ad avvicinarmi troppo e troppo velocemente. Ho passato molto tempo seduta su un picco o in altri punti strategici, indossando abiti dello stesso colore e osservandoli da lontano. Poi, quando c'era un albero con la frutta matura, e sapevo che sarebbero arrivati a mangiarla, costruivo un piccolo nascondiglio. Sapevano che ero lì, ma c'era una specie di regola implicita che io me ne sarei rimasta dietro quelle fronde di palma. A poco a poco si abituarono a me e potei iniziare a seguirli davvero. I piccoli sono molto curiosi, e nei primi giorni lo erano particolarmente. Sapevano che le loro madri erano ancora un pochino apprensive, ma erano sopraffatti dalla curiosità. Allungavano un braccio per toccarmi e poi si annusavano il dito, perché è questo il modo in cui imparano le cose.

Che cosa l'ha sorpresa di più nel loro comportamento?

La cosa più significativa è quanto incredibilmente ci somiglino. Molte persone rimasero sbalordite dal fatto che usassero e fabbricassero utensili. Io invece non ne fui particolarmente meravigliata, perché lo psicologo tedesco Wolfgang Köhler aveva riferito che in cattività non avevano problemi a servirsi di attrezzi. Ma è stato entusiasmante osservare questo comportamento in natura, insieme alla caccia e alla condivisione del cibo, perché ci ha permesso di trovare i fondi per proseguire le nostre ricerche. Quello che mi ha davvero sconvolto, invece, è stato scoprire che, come noi, hanno un lato oscuro, e sono capaci di una violenta brutalità, persino di fare la guerra. Le comunità si impegnano in una specie di battaglie primitive che sembrano legate a questioni territoriali. E forse ancora più sconvolgenti sono gli attacchi ai neonati da parte delle femmine della stessa comunità.

Che cosa differenzia la mente umana dalla mente di uno scimpanzè?

Lo sviluppo esplosivo dell'intelligenza. Si possono trovare scimpanzè molto brillanti in grado di imparare il linguaggio dei segni e di eseguire ogni genere di operazione con un computer, ma non ha senso confrontare questo tipo di intelligenza con quella di un essere umano medio, per non dire di un Einstein. La mia convinzione personale è che l'evoluzione del nostro intelletto sia accelerata dopo che abbiamo iniziato a usare il tipo di linguaggio che usiamo tuttora, una lingua che ci permette di discutere del passato e di pianificare il futuro distante.

Spesso gli scienziati ci mettono in guardia dall'antropomorfizzare i comportamenti che osserviamo in un particolare animale. C'è il pericolo di spingersi troppo nella direzione opposta, vale a dire di inserire il comportamento umano in una categoria completamente diversa rispetto a quello di ogni altro essere vivente?

Siamo così arroganti. Pensiamo che ogni cosa che facciamo debba avere una diversa natura e un diverso ordine di importanza; perciò, qualsiasi cosa somigli al comportamento umano negli animali non può ovviamente essere nulla di simile al nostro. Fui enormemente criticata quando, nel 1960, per la prima volta parlai del fatto che gli scimpanzè provano sensazioni ed emozioni e sono in grado di pensare. La capacità di ragionare e provare emozioni si riteneva nostro esclusivo appannaggio, come la personalità. Fortunatamente, da bambina avevo imparato dal mio cane Rusty che non era così. Gli animali cambiano umore: possono avere la luna storta, essere felici o tristi. Sapevo che Rusty poteva pensare, sapevo che poteva risolvere dei problemi. E aveva senza dubbio una personalità molto ben definita, diversa da quella di qualsiasi altro cane io abbia mai avuto. Così, anche se andiamo verso il fondo della scala evolutiva, troviamo personalità piuttosto diverse tra membri del medesimo gruppo. Ma la prima volta che parlai di differenze individuali tra gli scimpanzè gli etologi mi liquidarono dicendo che «magari queste cose esistono davvero, ma non sappiamo bene come funzionano, quindi non dovremmo parlarne». Chi ha animali domestici sa che hanno sentimenti e personalità. Ogni volta che c'è una scoperta che sfida l'esclusività umana, ecco che tutti si danno da fare per cercare di trovare qualche altro modo che provi la nostra unicità. Ma la linea che ci divide dagli scimpanzè è molto confusa.

A proposito di somiglianze, ha mai osservato nei primati qualche comportamento che potrebbe far luce sulla diffusione della pratica della musica rituale e della danza negli esseri umani?

Gli scimpanzè mettono spesso in atto manifestazioni ritmiche incredibili, simili alla danza, quando giungono nei pressi di una cascata situata nelle montagne [a Gombe] che precipita per circa 25 metri su un greto sassoso e produce un frastuono roboante. Il loro pelo si rizza, quindi iniziano a ondeggiare ritmicamente da una parte all'altra. Possono andare avanti anche per 20 minuti. Qualche volta succede che finiscono per mettersi seduti a osservare l'acqua, e si vedono i loro occhi seguire il flusso della cascata. Se potessero parlare tra loro delle sensazioni che scatenano queste manifestazioni – che penso debbano somigliare a meraviglia o timore reverenziale – la cosa si potrebbe facilmente trasformare in una forma di religione, di adorazione degli elementi.

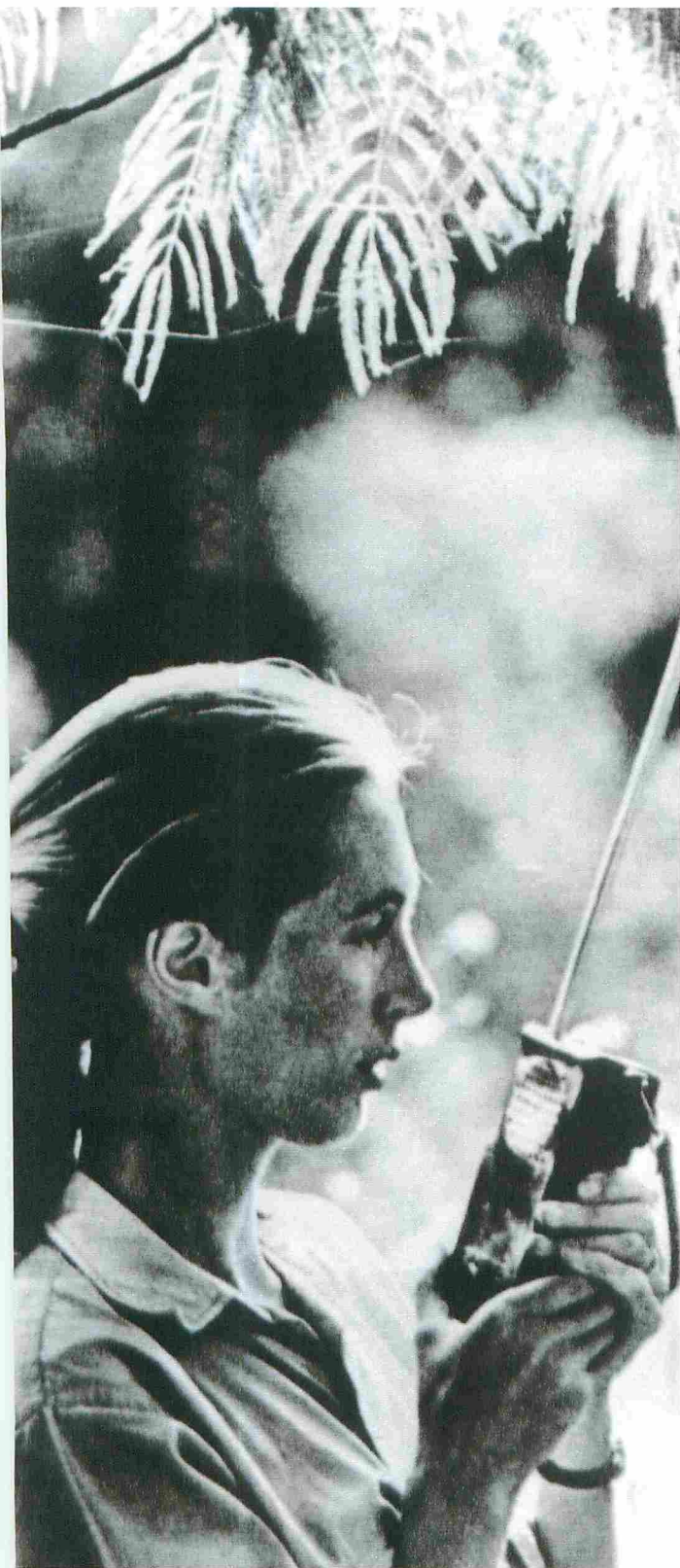
Qualche mese fa, alcuni archeologi che lavorano in Etiopia hanno annunciato di avere scoperto le prove che gli esseri umani usavano utensili in pietra per macellare animali 800.000 anni prima rispetto a quanto si pensasse. Alla luce delle sue osservazioni sugli scimpanzè, questa prova che gli ominidi primitivi usassero utensili in pietra le appare sorprendente?

No, niente affatto. Gli scimpanzè sono stati visti usare bastoni per uccidere galagoni su un albero, come se li pugnalassero. E usano le rocce per spaccare il guscio duro delle noci. Non mi sorprende. Immagino che i primi utensili che i nostri predecessori hanno usato non siano state le pietre, il cui impiego è più complesso, quanto piuttosto rami, foglie e cose simili.

Quali sono oggi le condizioni di vita degli scimpanzè allo stato selvatico, e quali sono le maggiori minacce alla specie?

Non se la stanno passando per niente bene. Le principali minacce variano da luogo a luogo, ma nella maggior parte dei siti il pro-

AP Photo/La Presse

Come noi, nel bene e nel male. Scoprendo le straordinarie somiglianze tra scimpanzè ed esseri umani, la Goodall (*nella foto a Gombe nel 1975*) scoprì anche il «lato oscuro» dei nostri cugini più prossimi, vale a dire il loro lato aggressivo e talvolta molto brutale.

blema maggiore è la perdita delle loro foreste. Nel bacino del Congo, dove si trova la popolazione di scimpanzè più numerosa, il commercio della carne di animali selvatici è una minaccia ulteriore, ed è una pratica molto spietata. Anche le malattie sono un problema. Gli scimpanzè possono contrarre molte delle nostre stesse infezioni, quindi via via che le società per lo sfruttamento del legname costruiscono strade che penetrano sempre più in profondità nella foresta gli animali corrono maggiori rischi.

Che cosa si sta facendo per proteggere gli scimpanzè?

In Tanzania, il Jane Goodall Institute ha avviato a un programma detto TACARE («Take Care») che sta migliorando la vita degli abitanti dei villaggi locali alleviandone le condizioni di povertà, così ora loro ci vogliono aiutare nei nostri sforzi volti a proteggere la foresta. Capiscono l'importanza di preservare l'acqua evitando di abbattere gli alberi. Gombe è minuscola, ma oggi intorno al parco sta crescendo una zona di verde dove una volta c'erano nude colline. Si stanno predisponendo corridoi di collegamento verso altre foreste pluviali che ospitano piccoli gruppi di scimpanzè. Non abbiamo idea se gli scimpanzè ne faranno uso, ma almeno stiamo dando loro una possibilità.

Un'altra iniziativa è il progetto Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD), un meccanismo per ottenere fondi dal denaro ricavato dal commercio del carbonio e dirigerli verso le comunità in grado di provare che stanno proteggendo o ripristinando le proprie foreste. Con le sovvenzioni che abbiamo ricevuto dal governo norvegese quest'anno, stiamo lavorando con Google Earth per insegnare ai locali a usare il telefono cellulare Android e altre tecnologie per raccogliere i dati sulla foresta necessari a partecipare al progetto REDD.

Ripensando ai suoi cinquant'anni trascorsi con gli scimpanzè, quali ritiene siano stati i suoi contributi più significativi?

Il fatto di abolire questa profonda spaccatura percepita tra noi e gli altri animali. Penso che gli scimpanzè abbiano aiutato le persone a capire che siamo parte del regno animale, che non ne siamo estranei, e questo ha aperto la strada del rispetto per gli altri esseri sorprendenti con i quali condividiamo il pianeta.

Occorre far capire ai giovani di tutto il mondo che ciò che noi facciamo singolarmente ogni giorno fa realmente una differenza. Se ciascuno di noi iniziasse a pensare alle conseguenze delle piccole scelte che operiamo – che cosa mangiamo, che cosa indossiamo, che cosa compriamo, come andiamo da A a B – e agisse di conseguenza, questi milioni di piccoli cambiamenti creerebbero il tipo di cambiamento più grande che dobbiamo operare se teniamo al futuro dei nostri figli. Questa è la ragione per cui viaggio 300 giorni all'anno e parlo a gruppi di giovani e adulti, politici e uomini d'affari: non penso ci rimanga poi così tanto tempo. ■

LETTURE

The Chimpanzees of Gombe: Patterns of Behavior. Goodall J., Harvard University Press, 1986.

Il popolo degli scimpanzè. Goodall J., Rizzoli, 1991.

Walking With the Great Apes. Montgomery S., Houghton Mifflin, 1991.

Le ragioni della speranza. Goodall J., Baldini Castoldi Dalai Editore, 1999.

L'aquila e lo scricciolo. Goodall J., Nord-Sud Editrice, 2000.

Cambiare il mondo in una notte. Goodall J., Di Renzo Editore, 2008.

Altre informazioni agli indirizzi **www.janegoodall.org** (in inglese) e **www.janegoodall-italia.org/index2.html** (in italiano).

BIOLOGIA

Vita invisibile

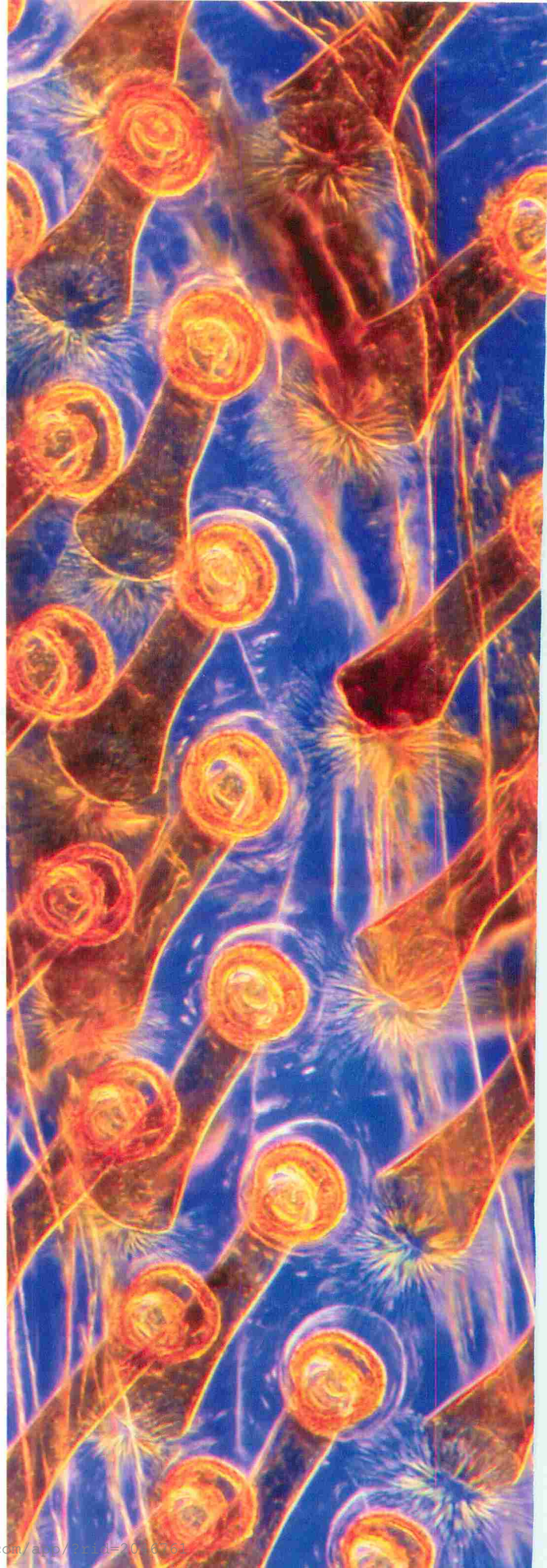
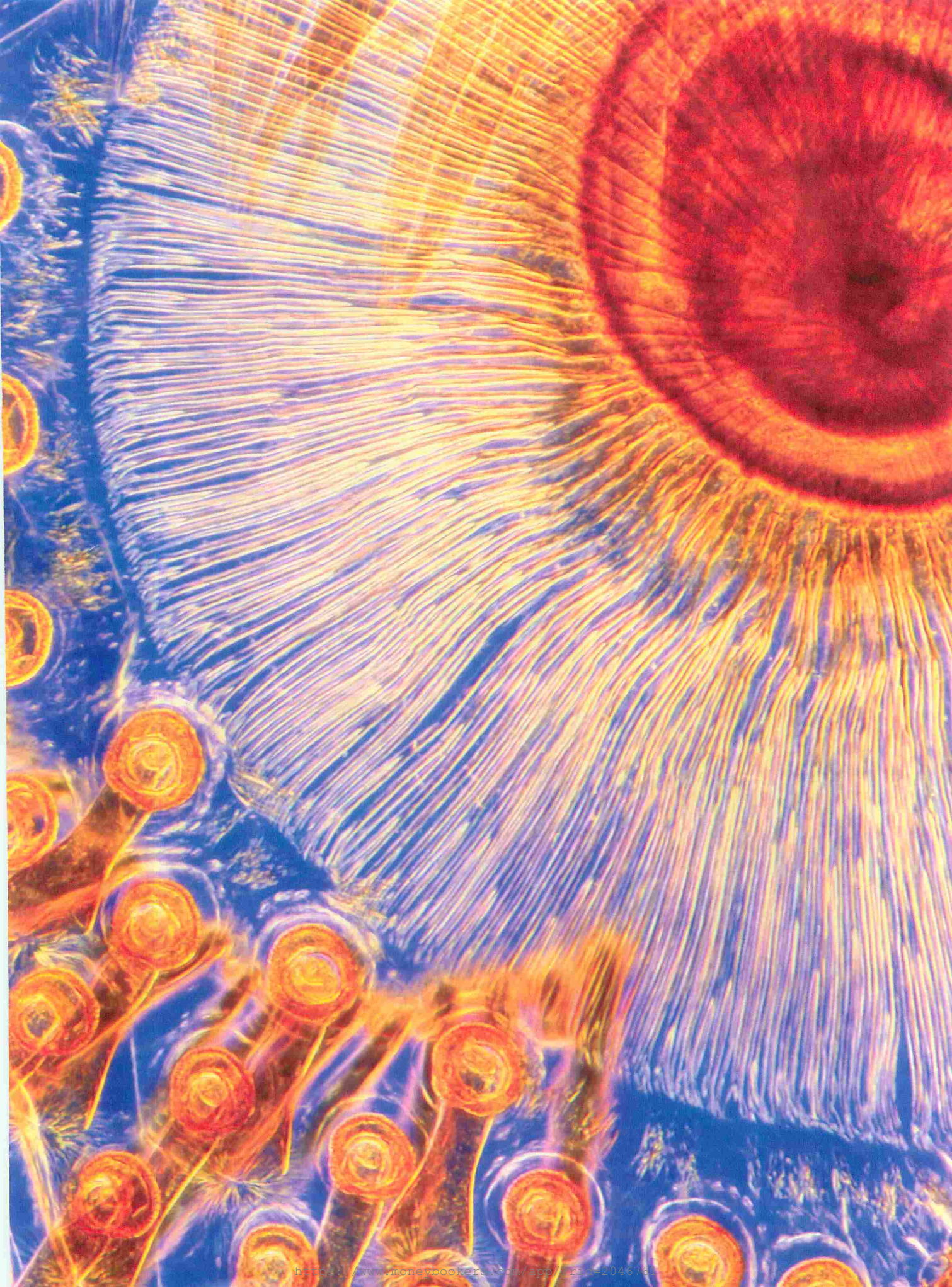
Osservata al microscopio, la natura offre paesaggi sorprendenti

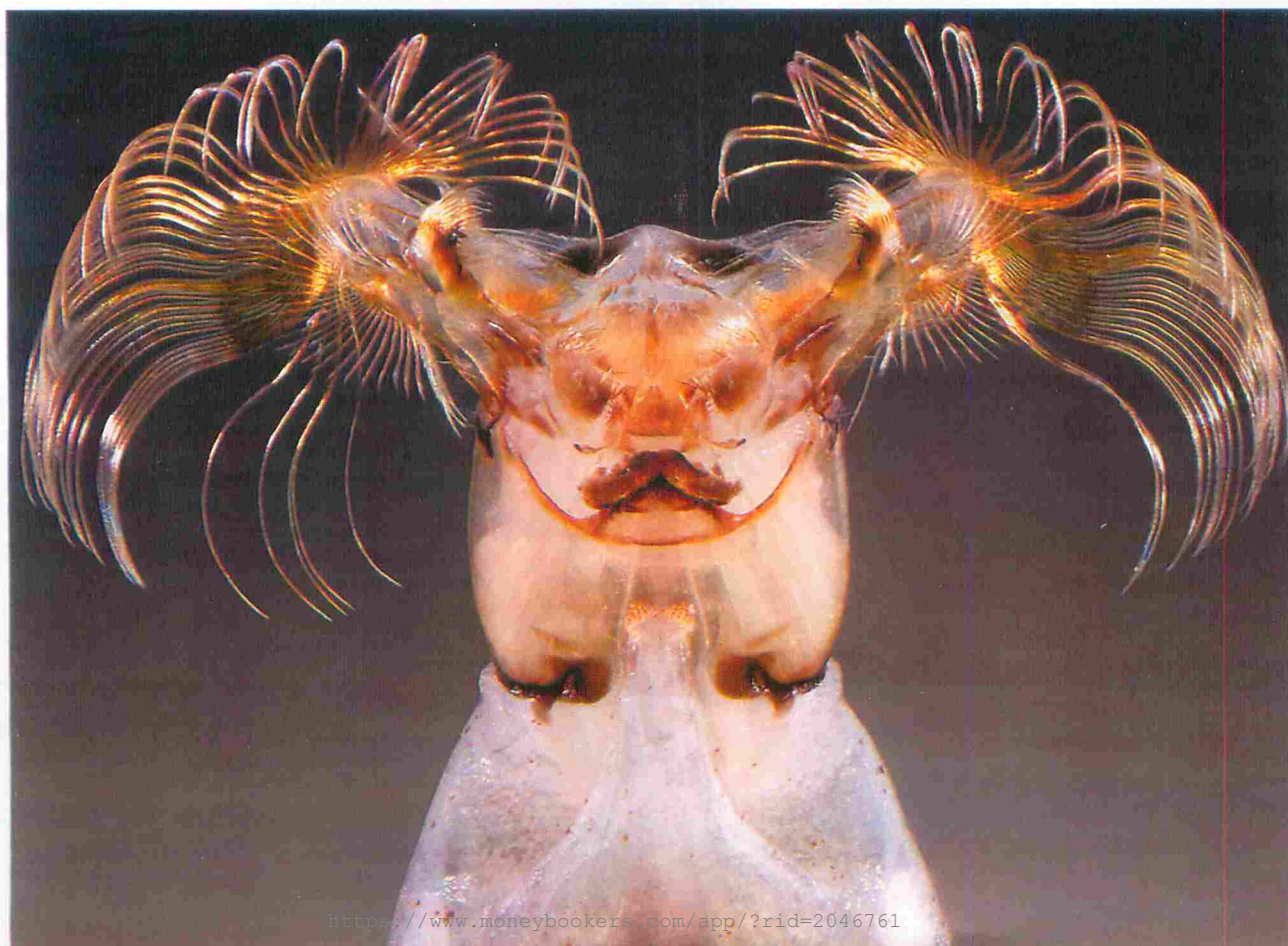
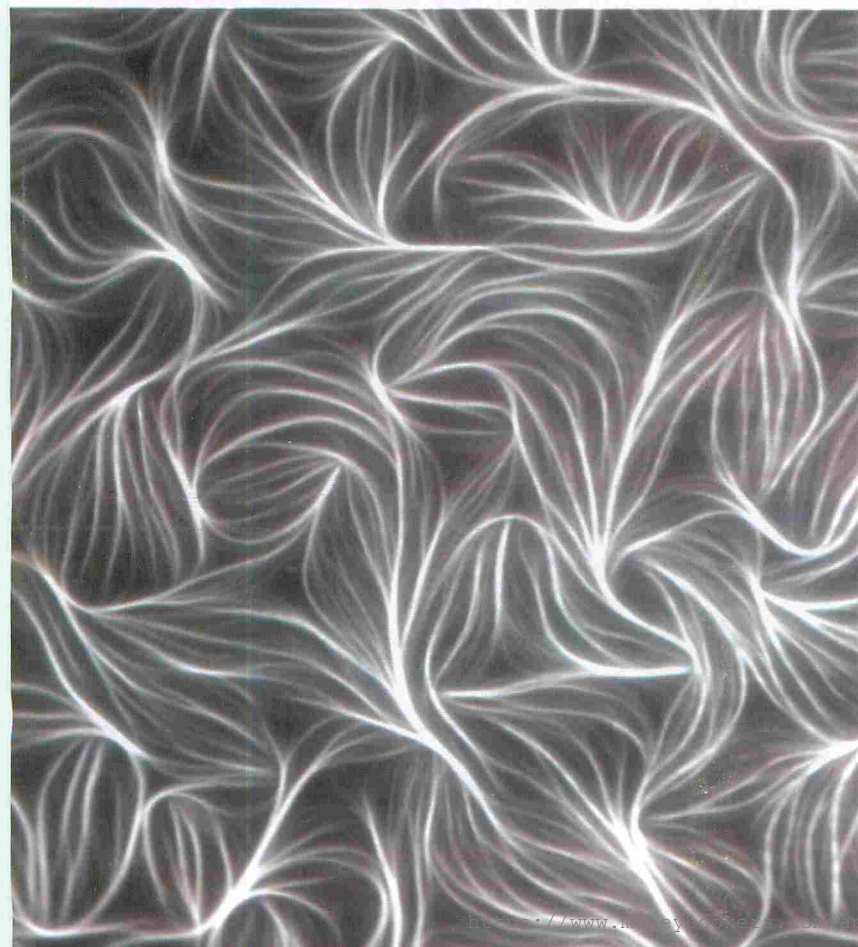
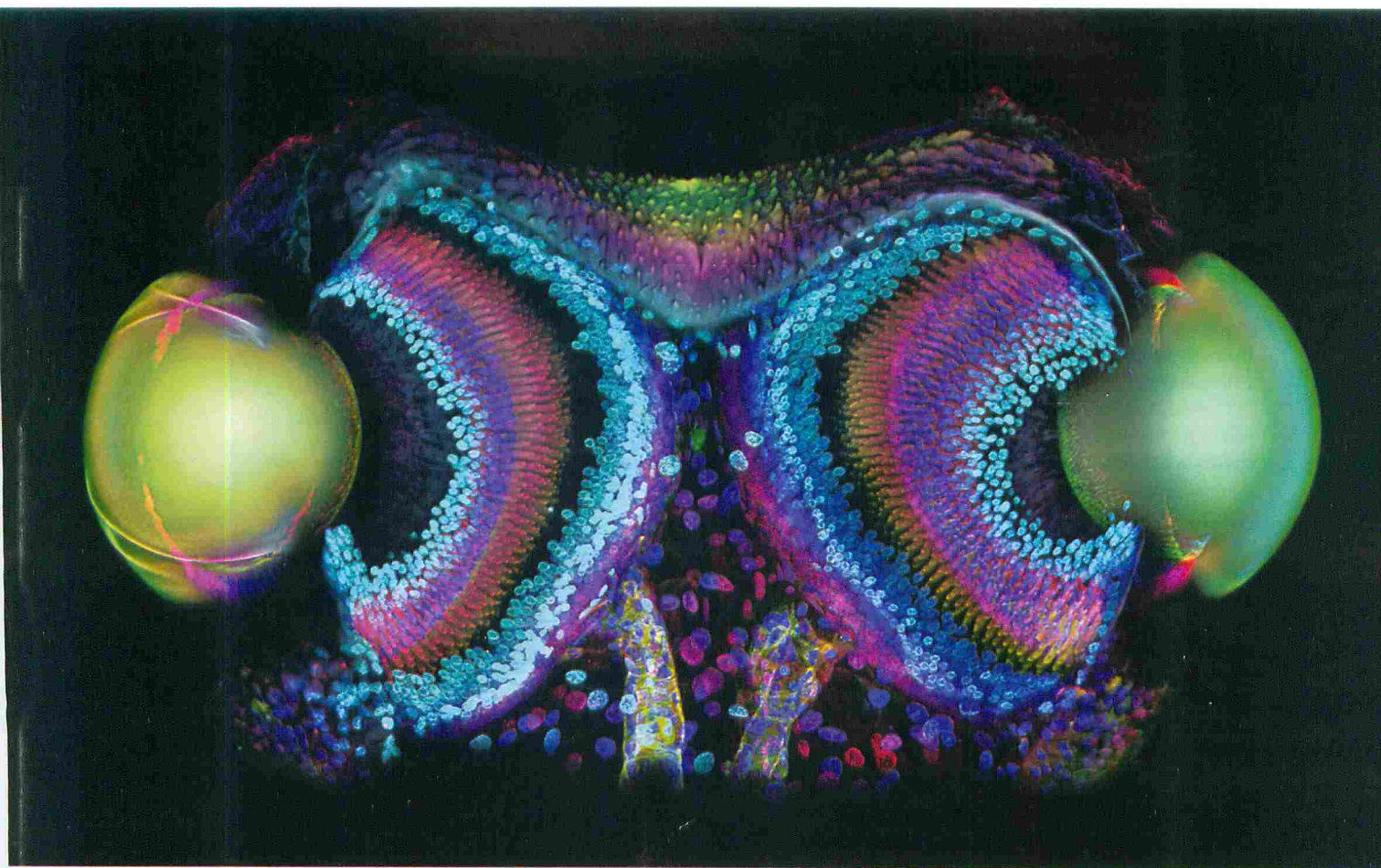
di Davide Castelvecchi

La natura assume aspetti profondamente diversi a seconda della scala a cui la osserviamo. Una diversità che si rivela impressionante nel mondo della biologia, dove la materia assume configurazioni che si rinnovano di continuo, offrendo ai nostri occhi – aiutati dagli strumenti scientifici – prospettive illimitate.

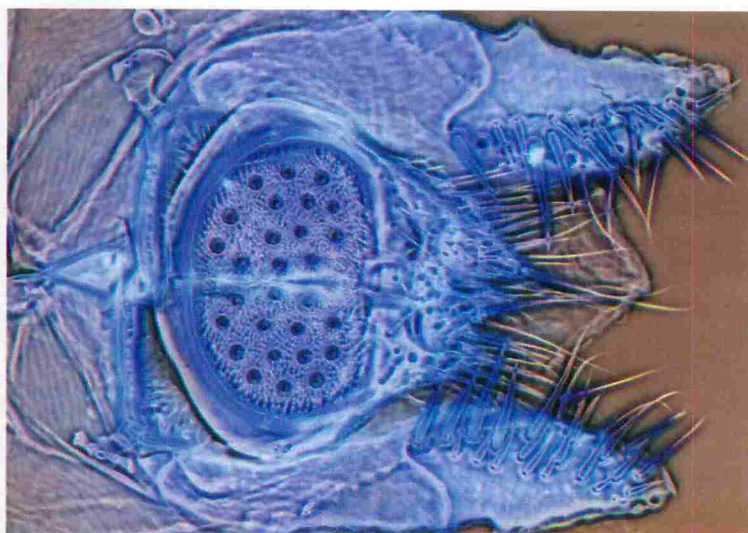
Possiamo così trovare la bellezza in luoghi insospettabili: nel fiore di una pianta che cresce al bordo della strada, nei dettagli anatomici di una pulce, o sotto un fungo cresciuto su un albero morto. Qualcuno esplora i mondi microscopici per ragioni scientifiche, altri, come Laurie Knight (*si veda l'immagine a p. 72*), per puro gusto dell'avventura. «Lo faccio – dice Knight – perché riesco a vedere cose che molte persone non sono in grado di vedere».

Per fortuna, Knight e molti altri come lei amano condividere alcune delle immagini che ottengono. Ogni anno scienziati e appassionati inviano i loro capolavori di arte microscopica all'Olympus BioScapes International Digital Imaging Competition. Si tratta di immagini il cui scopo è, usando le parole di un altro appassionato, Edwin K. Lee, «catturare l'essenza di scienza e arte messe insieme» (*si veda l'immagine a p. 70*). E, a sua volta, ogni anno «Le Scienze» ama condividere con i lettori alcuni dei suoi scatti preferiti di questo concorso. Buona visione. ■

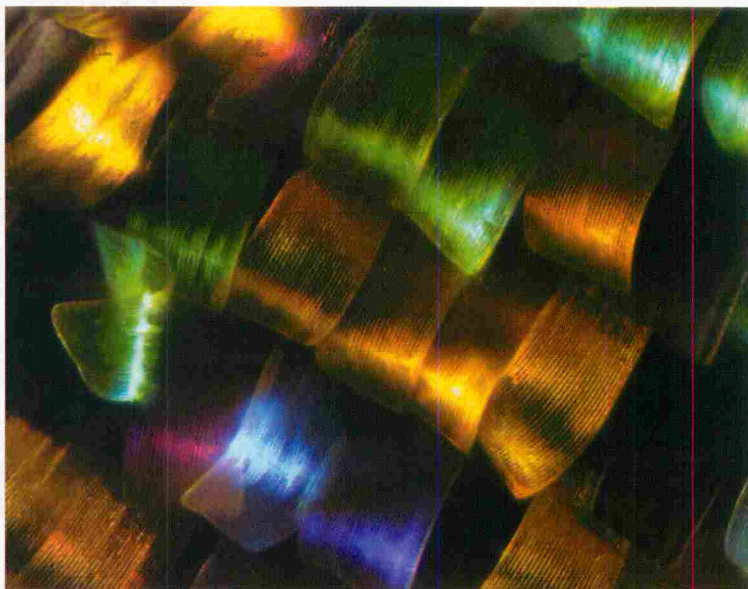
Zampa di coleottero. Spike Walker, professore di biologia in pensione di Penkridge, in Inghilterra, era in cerca di astrazione visiva quando ha catturato un dettaglio della zampa anteriore di un coleottero acquatico del genere *Dytiscus*. Walker ha usato un microscopio in campo oscuro in cui l'oggetto è fotografato su uno schermo blu. La luce filtra attraverso l'esoscheletro arancione della zampa. La struttura, larga 1,8 millimetri, mostra il pelo (*a sinistra e in basso*) e una ventosa (*grande disco a destra*). I maschi usano le ventose per attaccarsi alle femmine nell'accoppiamento. L'immagine è stata ricavata da 44 scatti, ciascuno con un diverso piano focale.

Stami degli infestanti. La falsa ortica reniforme (*Lamium amplexicaule*) è un infestante comune. Edwin K. Lee, microbiologo in pensione, ne ha scelta una della strada vicino casa sua a Carrollton, in Texas, per vedere se poteva essere un soggetto interessante per il suo microscopio. Ha rimosso gli stami dai fiori e li ha fotografati (*a destra*) usando luce polarizzata per far risaltare l'arancione e il marrone delle antere, le parti terminali che contengono il polline. Gli stami sono larghi circa tre millimetri.

Larve di mosca nera. Qualche volta, in un solo metro quadrato del letto di un fiume della Normandia, si possono vedere decine di migliaia di minuscole creature simili a polipi attaccate a rocce o piante acquatiche, che estendono i loro tentacoli (o ventagli cefalici) per catturare particelle di cibo, dice Fabrice Parais, idrobiologo che lavora per un ente ambientale francese. Ma queste creature non sono polipi, sono insetti: larve di mosca nera (*Dipterous simuliini*), che succhia il sangue. Parais cataloga e sviluppa metodi per analizzare campioni come quello qui sotto (che ha conservato nella formaldeide e fotografato in microscopia in campo oscuro) in modo che gli scienziati possano monitorare la biodiversità e quindi rilevare segni di pressione sull'ecosistema. I tentacoli sono lunghi circa due millimetri.

Occhi di ragno. Il primo premio del concorso BioScapes è andato a Igor Siwanowicz, del Max-Planck-Institut für Neurobiologie di Monaco di Baviera per la sua foto realizzata al microscopio confocale degli occhi di un opilione (*Phalangium opilio, sopra*). L'immagine in falsi colori mostra una veduta in sezione degli occhi, con i cristallini (*i due grandi ovali*), distanti tra loro meno di un millimetro, e le retine, costituite da un unico strato di cellule fotorecettrici a forma di bastoncino che permettono al ragno una visione monocromatica povera. I nuclei dei fotorecettori appaiono in azzurro, e i corpi allungati delle cellule sono in una gamma di colori che vanno dal viola al rossastro.

Filamenti di actina. Le cellule nucleate hanno una struttura interna, il citoscheletro, costituita in parte da filamenti della proteina actina. L'immagine a sinistra mostra filamenti di actina purificata (lunghi decine di micrometri) che Dennis Breitsprecher ha fatto crescere quando si stava specializzando alla Medizinische Hochschule di Hannover. Breitsprecher spiega che si stanno scoprendo centinaia di enzimi che regolano l'evoluzione della forma del citoscheletro. Ma dice anche che solo la giusta scelta di enzimi produce le forme dell'immagine: «So quale proteina aggiungere per ottenere un bell'aspetto».

Organo della pulce. I vetrini di microscopio *vintage* – in particolare quelli di epoca vittoriana – sono articoli da collezione che gli appassionati acquistano *on line* o in negozi specializzati. David Walker, chimico in pensione di Huddersfield, in Inghilterra, ha prodotto il dettaglio a destra di un campione di pulce (che mostra un organo sensoriale lungo 0,7 millimetri detto sensillo) usando la lente su un vetrino preparato tra fine Ottocento e inizio Novecento, acquistato su eBay per circa 15 dollari. I colori sono stati modificati con un software.

Funghi chiodini. Ricordando le pieghe sinuose di alcuni dei dipinti di Georgia O'Keeffe, il fungo nell'immagine centrale è stato fotografato da Neil Egan, di Cleveland. I funghi chiodini sono comuni nei dintorni della struttura dove lavora come tecnico di controllo qualità per un produttore di accessori automobilistici; il fungo della foto era cresciuto su un albero morto. Per Egan non è una novità cercare la bellezza negli oggetti ordinari. «Più osservi le cose, più si rivelano interessanti», ha spiegato.

Ala di falena. Siamo abituati a pensare alle falene come a insetti notturni grigiastri e dall'aspetto insignificante. Ma una specie di falena del Madagascar, *Chrysiridia rhipheus*, è una creatura diurna con bellissime ali iridescenti. Le squame sulle ali (*fotografia in basso*) hanno strati multipli di cuticola con spaziature diverse tra loro di entità nanometrica per produrre colori mediante interferenza ottica. Laurie Knight, sviluppatore web di Tonbridge, in Inghilterra, ha realizzato scatti multipli di queste squame con un ingrandimento 20×. E poi ha usato uno speciale programma per riunire i fotogrammi in un'unica immagine sul suo computer.

Corallo fungo. I coralli familiari alla maggior parte di noi sono colonie di piccoli polipi che costruiscono strutture ramificate di carbonato di calcio. Ma i coralli fungo (*Fungia scutaria*), come quello che si vede nell'immagine della pagina a fronte, sono solitari. James Nicholson, uno specialista di *imaging* medicale in pensione, ha fotografato il campione vivo largo 5 centimetri di una specie non identificata per la Coral Culture and Collaborative Research Facility, un laboratorio situato a Charleston, nel South Carolina, gestito dalla National Oceanic and Atmospheric Administration e da altre istituzioni statunitensi, dove opera come consulente volontario. Nicholson e collaboratori vogliono capire come monitorare lo stress ambientale, come quello causato dalle perdite di petrolio o dall'aumento delle temperature. Le piccole protuberanze sono tentacoli che l'animale usa per portarsi il cibo alla bocca, che è la fessura bianca al centro.

LETTURE

Per ulteriori informazioni sul concorso Olympus BioScapes, visitate il sito web: **http://www.olympusbioscapes.com.**
Altre immagini del concorso sul sito di «Le Scienze»: **http://www.lescienze.it.**

Michel M. Maharbiz è professore associato di ingegneria elettronica e informatica all'Università della California a Berkeley. Il suo laboratorio ha sfruttato l'esperienza della natura nella costruzione e nell'alimentazione di minuscole macchine volanti, i coleotteri, integrando nel loro organismo sistemi di comando computerizzati che permettono di dirigerne il volo.

Hirotaka Sato ha conseguito il Ph.D. in chimica alla Waseda University di Tokyo con un lavoro sui processi di nanofabbricazione basati su principi elettrochimici. Ha cominciato il suo lavoro di post-dottorato su cybercoleotteri nel 2007 all'Università del Michigan ad Ann Arbor e dal 2008 è a Berkeley.

Un giorno minuscoli robot volanti in parte macchine e in parte insetti potrebbero salvare vite umane durante guerre e catastrofi

ROBOTICA

L'avvento dei cybercoleotteri

di Michel Maharbiz e Hirotaka Sato

La mosca è un prodigio di ingegneria aeronautica. Uno dei fattori per cui questo insetto è in grado di sfuggire allo schiacciamosche è che le sue ali si muovono in modo straordinariamente rapido: circa 200 battiti al secondo, una frequenza raggiunta con una biomeccanica complessa. Le ali non si attaccano direttamente ai muscoli del torace. La mosca contrae e rilassa ritmicamente i muscoli in modo che il torace cambi forma. A sua volta, la deformazione fa oscillare le ali, un po' come avviene quando un colpo fa vibrare un diapason. In questo modo, la mosca converte una piccola quantità di energia in un moto complesso con uno sforzo limitato.

Sull'onda della miniaturizzazione dei circuiti per computer e del

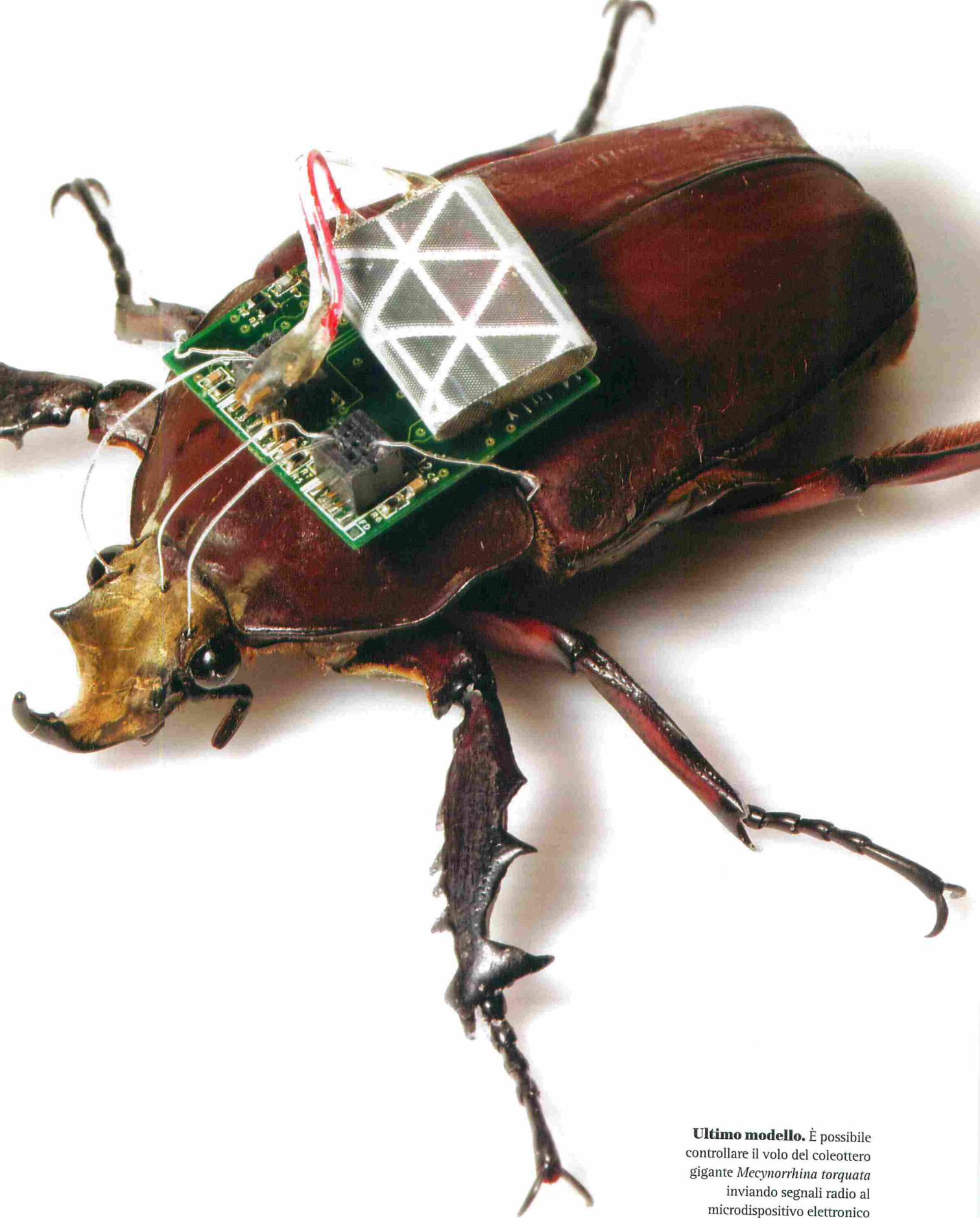
IN BREVE

Gli scienziati vorrebbero sviluppare minuscoli robot in grado di penetrare volando all'interno di un locale altrimenti inaccessibile e di comunicare all'esterno informazioni sulla presenza di persone o pericoli.

Gli attuali dispositivi volanti micromeccanici artificiali consumano troppa energia: le batterie miniaturizzate di cui sono dotati sono sufficienti solo per pochi minuti di volo libero.

Potenziali soluzioni: vincolare una videocamera e altri dispositivi su insetti che volano con un'incredibile efficienza energetica in modo da poterne controllare il movimento.

Gruppi di ricerca di Berkeley, del MIT e della Cornell University hanno dimostrato, con un controllo a distanza senza fili di un coleottero gigante, di poter determinare l'inizio e la fine di un volo, una virata a destra o a sinistra, e il volo in cerchio.

David Liittschwager (*fotografia*)

Ultimo modello. È possibile controllare il volo del coleottero gigante *Mecynorrhina torquata* inviando segnali radio al microdispositivo elettronico montato sul suo dorso.

progresso registrato dalle tecniche di microfabbricazione, alcuni ingegneri hanno realizzato microscopiche macchine volanti che imitano questa capacità di movimento. Per esempio, la DelFly Micro, presentata nel 2008 da ricercatori della Technische Universiteit di Delft, nei Paesi Bassi, pesa tre grammi, ha un'apertura alare di 100 millimetri e una videocamera. La macchina dell'Harvard Microrobotics Laboratory è ancora più piccola (pesa solo 0,06 grammi, quattro volte una mosca) e il suo volo non può essere controllato. Ma il tallone d'Achille di questi dispositivi è la fonte di energia: le batterie di oggi durano solo pochi minuti.

Un po' di tempo fa abbiamo avuto un'idea con cui aggirare questi limiti. Invece di costruire un insetto robotico da zero, si sfruttano gli insetti come macchine volanti. In questo modo, non abbiamo più bisogno di batterie pesanti e di tecniche di microfabbricazione, e ci si può concentrare sui sistemi di controllo artificiali. In altre parole, l'insetto vola in modo autonomo ma i circuiti innestati nel suo sistema nervoso trasmettono i comandi – vira a destra o a sinistra, vai su o giù – inviati da operatori. Insomma costruiamo cyborg volanti, in parte insetti e in parte macchine.

L'idea ci è venuta cinque anni fa, quando uno di noi (Maharbiz) ha partecipato a un convegno sugli insetti cyborg organizzato dalla Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Al convegno erano state analizzate alcune tecnologie che permettono ai biologi di ricevere e registrare segnali elettrici da singole fibre muscolari di insetti in volo. Secondo Amit Lal, manager della DARPA e organizzatore dell'incontro, i tempi erano maturi per capire se, grazie a mircrocircuiti impiantati, si potevano anche trasmettere segnali elettrici per far muovere quei muscoli nel modo desiderato dai ricercatori.

Gli insetti cyborg potrebbero avere diverse applicazioni militari: per esempio potrebbero stimare il numero di persone all'interno di un edificio e identificarle prima di decidere se intervenire. Questi ibridi silicio-carbonio potrebbero anche portare innovazioni in campo civile, per esempio robot insettoidi che individuano i sopravvissuti tra le macerie di un terremoto.

Perché i coleotteri?

Prima della conferenza della DARPA, la maggior parte degli studi migliori sul volo degli insetti riguardava locuste, falene e mosche. La mia idea era che tenendo conto di questi lavori avremmo ridotto il numero di false partenze e di binari morti che da sempre accompagnano un nuovo campo di ricerca. Falene e locuste sono grandi, ma non possono trasportare molto peso, quindi erano state subito scartate. E così rimanevano le mosche.

Le mosche hanno molti vantaggi, soprattutto perché i biologi sanno molte cose su di loro. Michael Dickinson del California Institute of Technology e altri scienziati hanno ricostruito con notevole dettaglio quali muscoli di questi insetti si contraggono e in che modo per generare portanza e virare. In particolare, le mosche sfruttano l'energia in modo incredibilmente efficiente, caratteristica che permette di battere e governare le ali a una velocità elevatissima. Da un punto di vista ingegneristico, però, è difficile lavorare con le mosche. Sono così piccole che per impiantare i cavi e i circuiti necessari per i nostri esperimenti servirebbe un nanochirurgo, e io non lo sono. Quindi ho pensato alle alternative. Le libellule sono abbastanza grandi e sono eccellenti volatori, ma sono molti fragili. Un'alternativa era data dalle blatte.

In quel periodo stavo leggendo *The Biology of the Coleoptera*, una delle trattazioni classiche dedicate alla biologia dei coleotteri, scritta nel 1981 da Roy A. Crowson. E così ho scoperto che per molti aspetti i coleotteri volano in modo molto simile alle mosche. I muscoli del torace di un coleottero deformano il torace stesso in modo da far oscillare le ali come un diapason. Inoltre, anche il tipo di muscoli e l'anatomia sono simili a quelli della mosca. Un paio di altri studi sui coleotteri pubblicati a partire dagli anni cinquanta ci hanno dato spunti da cui cominciare. Il più importante di tutti forse è che in media i coleotteri hanno grandi dimensioni: la lunghezza varia da un millimetro a più di dieci centimetri. I coleotteri, inoltre, rappresentano un quinto di tutte le specie viventi, e quindi sono facilmente disponibili, almeno in teoria. In pratica, negli Stati Uniti solo poche persone allevavano coleotteri di dimensioni adatte ai nostri scopi e ci sono voluti alcuni anni per trovare una fornitura affidabile di insetti da allevatori europei e asiatici.

A questo punto della ricerca si è unito al nostro gruppo l'altro autore di questo articolo: Hirotaka Sato, chimico esperto di nanofabbricazione. Il nostro obiettivo era mostrare che avremmo potuto indurre il volo dell'insetto con controllo remoto, controllare le sue virate e la sua velocità quando richiesto, e farlo fermare in un dato punto. Come ingegneri, volevamo che queste funzioni fossero ripetibili e affidabili, senza arrecare danno all'insetto.

Prima di realizzare un rudimentale cyborg volante dovevamo definire un minimo insieme di comportamenti che avremmo voluto controllare. Volevamo lavorare in condizioni di volo libero, quindi non volevamo usare cavi – come invece avevano fatto altri gruppi – che devono per forza essere lunghi e tendono ad aggrovigliarsi. Quindi abbiamo optato per un controllo via radio, simile a quelli usati per guidare modellini di auto, aerei o elicotteri. Un'altra richiesta era poter avviare o arrestare il battito delle ali a richiesta, aumentare o diminuire la portanza dell'insetto e indurre virate a destra e a sinistra. Inoltre non volevamo controllare ogni aspetto del volo dell'insetto, visto che i coleotteri sono già esperti nel prendere come riferimento l'orizzonte e nel regolare la propria velocità e traiettoria tenendo conto del vento e degli ostacoli.

Allo stesso tempo, volevamo essere sicuri di poter inviare i segnali direttamente all'apparato neuromuscolare dell'insetto, in modo da poter dare un controcomando nel caso in cui l'insetto cercasse di fare altro. Qualunque insetto in grado di ignorare i nostri comandi sarebbe stato un fallimento.

Non procedevamo alla cieca. La maggior parte dei coleotteri che avevamo scelto, per esempio, poteva portare un carico equivalente al 20-30 per cento del proprio peso. Quindi, sono le dimensioni dell'insetto a determinare le dimensioni massime dell'equipaggiamento di controllo. Poiché sapevamo quali muscoli del coleottero fanno oscillare le ali, sembrava ragionevole supporre che l'invio di correnti elettriche di varie frequenze ai muscoli su entrambi i lati del corpo avrebbe permesso di cambiare la traiettoria dell'insetto variando la modalità di battito delle ali.

Inoltre sapevamo che durante il volo questi insetti fanno ampio uso di riferimenti visivi. Proprio come negli esseri umani, la luce che entra nell'occhio dell'insetto stimola neuroni sensibili alla luce. I segnali generati da questi neuroni percorrono i lobi ottici fino al mensencefalo e ai gangli, dove sono elaborati e forniscono all'insetto le informazioni visive durante i movimenti. Sapevamo anche che la quantità di luce è importante in generale. Per esempio se in una stanza improvvisamente si spegne la luce, i coleotteri smettono subito di volare. Questo comportamento suggerisce che gli insetti hanno bisogno di input sensoriali visivi per continuare a muovere le ali, così abbiamo pensato che la stimolazione dei lobi ottici del cervello o delle aree vicine la base dei lobi ottici avrebbe potuto generare una forte risposta di locomozione.

Il progetto di controllo del volo

Gli autori usano impulsi elettrici attentamente temporizzati per stimolare aree relativamente ampie di fasci neuromuscolari di un coleottero e controllarne il volo. Se lo schema di stimolazione dipendesse dall'attivazione di un solo neurone, i risultati potrebbero non essere replicabili su insetti diversi. Il punto di innesto dell'impianto, per esempio, potrebbe spostarsi nel corso del volo, rendendo l'insetto incontrollabile.

Meccanica di volo del coleottero

Le ali dei coleotteri si muovono un po' come un diapason fatto oscillare da un urto. Invece di muovere direttamente le ali su e giù, due fasci di muscoli (*in arancione durante la contrazione e in blu durante l'estensione*) si alternano per deformare il torace. In questo modo, le ali si muovono su e giù in modo molto rapido.

Attivazione del muscolo dorso-longitudinale

Attivazione del muscolo dorso-ventrale

Controllo del volo senza fili

Un po' come fanno gli appassionati di modelli di auto, aerei ed elicotteri radiocomandati, i ricercatori hanno sviluppato un sistema per inviare comandi via radio a coleotteri in volo libero.

Sei elettrodi di stimolazione sono impiantati in corrispondenza dei lobi ottici del coleottero, nel cervello, sul torace (controelettrodi) e nei muscoli basalari destro e sinistro.

Un circuito stampato dotato di batteria (*in argento*), invia impulsi elettrici ai siti adatti per far partire o arrestare il volo, per virare a destra o a sinistra, e per aumentare o diminuire la potenza.

1,6 cm

Antenna: un ricevitore a stato solido invia i comandi di volo al circuito collegato all'insetto.

Mecynorrhina torquata

Primi esperimenti

Il lavoro preliminare con la specie *Cotinis texana* ha stabilito che le oscillazioni delle ali si possono controllare. In questo primo modello, i comandi di volo erano stati caricati nel microcontrollore prima dell'esperimento. Per il controllo senza fili a distanza, occorre aggiungere un ricevitore radio, ma in questo modo il carico diventa eccessivo per coleotteri lunghi due centimetri.

Dimensioni reali

Microbatteria

Elettrodo

Microcontrollore

Cotinis texana (dimensioni reali)

Bryan Christie (*illustrazione*); David Liittschwager (*fotografie*)

Poiché l'impianto di un dispositivo nell'occhio o nel lobo ottico avrebbe compromesso la capacità di manovra dell'insetto, ci siamo concentrati sulle aree alla base dei lobi e abbiamo trovato che non è necessario stimolare singoli neuroni. Invece, inviando una corrente elettrica di opportuna frequenza al tessuto vicino alla base dei lobi ottici, i circuiti neurali del coleottero si sono occupati del resto, e il coleottero ha preso il volo.

Se all'inizio non funziona

Prima di arrivare al successo abbiamo registrato numerosi fallimenti. All'inizio, per sei mesi abbiamo lavorato con *Zophobas morio* (1,5 centimetri di lunghezza per un grammo di peso) della famiglia *Tenebrionidae*. Questo coleottero si trova nei negozi di animali; le sue larve sono usate come cibo per gechi e altri piccoli rettili. In realtà non avevamo idea di come farlo volare. Lanciato in aria centinaia di volte si rifiutava di aprire le ali: forse *Zophobas* non ama volare. Alla fine ci siamo concentrati sul *Cotinis texana* (2 centimetri di lunghezza per 1,5 grammi di peso) diffuso nel sud-est degli Stati Uniti, dove è noto per i danni che causa alle coltivazioni.

Non volevamo ripetere l'esperienza avuta con *Zophobas*, così abbiamo cercato un coleottero in grado di volare, e *Cotinis* è ben noto sia come ottimo volatore sia come parassita. In un paio d'anni abbiamo collezionato migliaia di questi coleotteri da agricoltori che non riuscivano a credere che pagassimo cinque dollari per ogni esemplare.

Sulla base dei primi esperimenti con *Zophobas* e *Cotinis*, sapevamo come usare i coleotteri senza ferirli e in quali punti del dorso, vicino i muscoli delle ali e alla base del capo, incollare i microcavi con cera d'api. Abbiamo progettato e perfezionato una minuscola scheda di circuiti in grado di ricevere istruzioni via radio e inviare i segnali elettrici oggetto della nostra sperimentazione. (*Per esempi di coleotteri equipaggiati sia con una delle prime versioni della nostra tecnologia sia con una delle ultime, si veda il box a p. 77.*) Attualmente il sistema base ha pochi componenti: un microcontrollore con radio incorporata (per ricevere istruzioni), una batteria (per fornire energia elettrica) e numerosi sottili cavi in argento del diametro di 125 micrometri impiantati nel cervello e nei muscoli deputati al volo.

L'obiettivo degli esperimenti era dimostrare la possibilità di controllare a distanza tutte le fasi del volo di un insetto in modo affidabile e ripetibile

Per *Cotinis* il limite di carico è tra 200 e 450 milligrammi, quindi il sistema iniziale era sprovvisto di radio e i comandi di volo erano caricati nel microcontrollore prima dell'esperimento. Il coleottero è stato studiato in due configurazioni di volo, oltre a quello libero, ottenute vincolando l'insetto a un cavo oppure a un giunto cardanico (per poterlo osservare mentre volava sul posto).

Il nostro primo successo con *Cotinis* è arrivato due mesi dopo. Dopo diversi esperimenti abbiamo individuato una sezione relativamente ampia di neuroni che, quando stimolati, producono modulazioni del volo ripetibili e prevedibili. Inoltre abbiamo scoperto che l'insetto inizia a battere le ali e assume quasi sempre la corretta postura di volo (il 97 per cento delle volte, per essere precisi), quando viene stimolata un'area del cervello tra il lobo ottico destro e quello sinistro con impulsi elettrici brevi, della durata di circa dieci millisecondi (100 hertz). E abbiamo anche scoperto che un impulso più lungo inviato alla stessa area ferma l'oscillazione. In altre parole, abbiamo «acceso e spento» l'insetto come con un interruttore, inviando un impulso per far battere le ali e un altro per fermarle.

Secondo noi, questo impulso più lungo ha sovraccaricato i neuroni alla base del lobo ottico e impedito la propagazione dei segnali elettrici, inibendo il segnale che mantiene in oscillazione le ali. Abbiamo trovato che il processo si è verificato indipendentemente da ciò che l'insetto stava facendo mentre riceveva l'impulso da dieci millisecondi: se strisciava su un tavolo, le ali cominciavano a battere e volava via; se era poggiato sul dorso iniziava lo stesso a battere le ali; se era già in volo, le sue ali smettevano di battere e cascava sul pavimento, poi continuava a strisciare.

In ogni caso, nulla faceva pensare che stessimo danneggiando gli insetti, nemmeno quando cadevano sul pavimento. I coleotteri con l'impianto vivevano quanto i coleotteri senza impianto, cioè alcuni mesi. Volavano, si nutrivano e si accoppiavano proprio come i coleotteri normali. Inoltre, inviando i segnali *on* e *off* ripetutamente e in rapida successione mentre l'insetto era in volo, si potevano modulare le oscillazioni delle ali. In altre parole, se inviavamo segnali *on* e *off* uno dopo l'altro l'oscillazione delle ali non cessava, ma si attenuava. Tutto questo aveva l'effetto di cambiare la «spinta» dell'insetto, permettendoci di controllare in modo affidabile l'energia usata per volare, un po' come piloti che usano appositi comandi per controllare la velocità degli aerei.

Per far virare i coleotteri, abbiamo innestato alcuni cavi microscopici su entrambi i lati dei muscoli basalari, un tipo di muscoli alari diretti. Applicando impulsi di dieci millisecondi al muscolo destro, l'insetto generava più potenza sul lato destro e virava a sinistra. All'inizio abbiamo usato il coleottero *Mecynorrhina torquata*, i cui otto grammi sono l'ideale per trasportare sia la radio sia il carico che avevamo sviluppato.

I prossimi passi

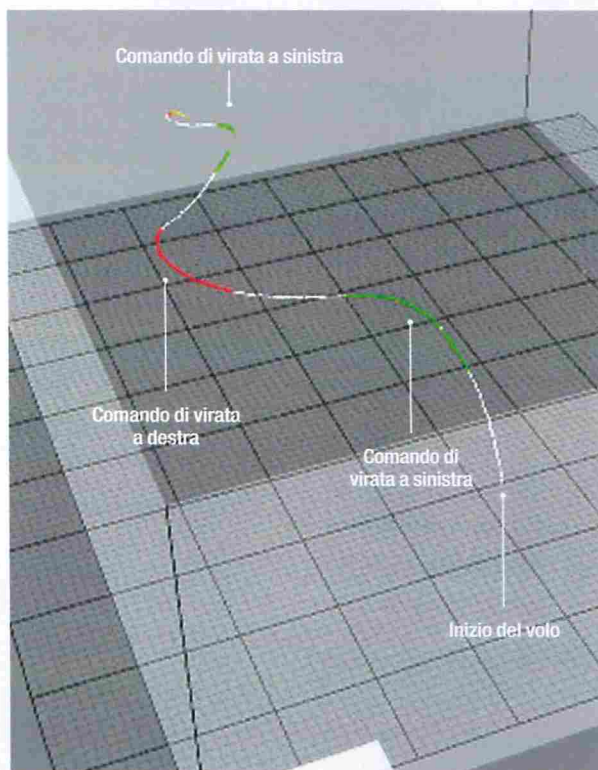
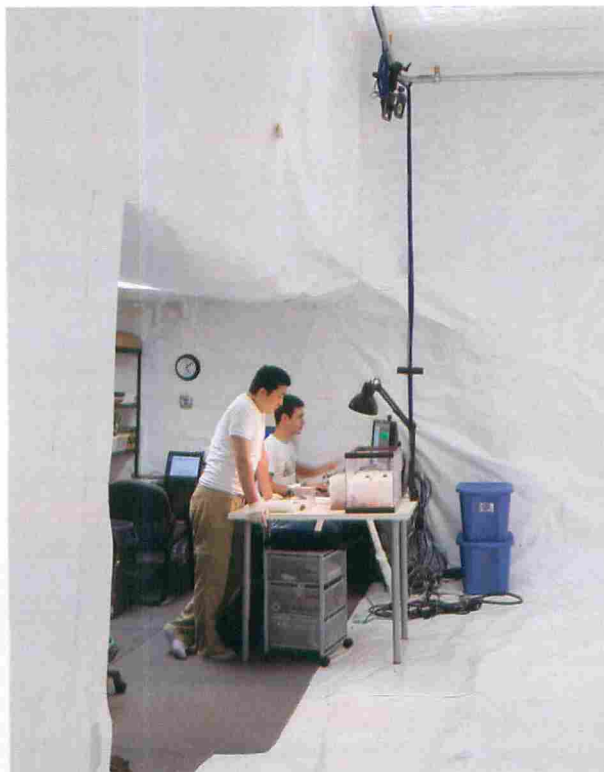
Per quanto fossero attraenti questi risultati, occorreva fare di più. Eravamo riusciti a fare virare un coleottero a destra e a sinistra, e a farlo volare in cerchio, ma il nostro obiettivo finale era il controllo del volo in tre dimensioni in modo da evitare gli ostacoli, per esempio infilandosi in camini o condutture. Per farlo, abbiamo aggiunto minuscoli microfoni che registrano il battito delle ali del coleottero in volo. Quando il suono raggiunge un certo livello – indicando se l'ala è sollevata o abbassata – è possibile applicare con precisione impulsi di stimolazione ai muscoli di controllo del volo.

Ora la strumentazione funziona molto bene, ma vorremmo un po' di aiuto per i programmi dei computer che controllano i coleotteri. Così abbiamo contattato alcuni nostri colleghi con più esperienza nella programmazione di software per macchine volanti. Sulla base del suo lavoro con elicotteri senza pilota, Pieter Abbeel, dell'Università della California a Berkeley, insieme con i suoi studenti Svet Kolev e Nimbus Goehausen, sta sviluppando un sistema di controllo per insetti che suddivide comandi complessi (come «cambia rotta di 20 gradi») nelle componenti (come «invia impulsi da dieci millisecondi al muscolo basalare destro per un certo numero di secondi».) Quindi un utente non dovrebbe fare altro che inviare alcune correzioni di rotta, e il microcontrollore gestirebbe gli stimoli necessari a far volare il coleottero in quella direzione.

Per capire quale sia la serie di stimoli necessaria, stiamo usando immagini ottenute con la risonanza magnetica, approfondite analisi anatomiche e registrazioni ad alta velocità dei coleotteri in volo per conoscere la configurazione tridimensionale e la funzionali-

La traiettoria di un cyborg

I ricercatori del laboratorio di Maharbiz testano i coleotteri cyborg in un'apposita stanza dotata di speciali apparecchiature (*nella foto sotto, Sato è in piedi*). La traiettoria di volo illustrata nella parte destra di questo box è iniziata con la stimolazione dei lobi ottici del coleottero, che innescano il comportamento di volo. Gli impulsi elettrici inviati al muscolo basalare destro fanno virare l'insetto a sinistra, e la stimolazione del muscolo basalare sinistro fa virare l'insetto a destra. Il volo si è concluso dopo che i lobi ottici hanno ricevuto un secondo impulso più lungo del primo.

Fonte dati telemetria: Svetoslav Kolev e Nimbus Goehausen, Università della California a Berkeley

tà di alcuni degli altri muscoli che fanno muovere ciascuna ala. Da questi dati, stiamo considerando come bersaglio muscoli differenti, in modo da poter controllare imbardata e rollio in modo più indipendente nel volo libero.

Quale futuro?

Che gli insetti radiocontrollati possano essere utili o meno come robot è una questione ancora aperta, ma personalmente riteniamo che potranno esserlo. Sul mercato continueranno ad arrivare microcontrollori sempre più miniaturizzati e parsimoniosi nel consumo di energia che consentiranno un controllo sempre più preciso dei nostri coleotteri cyborg. Fino a quando sarà difficile sviluppare batterie miniaturizzate in grado di immagazzinare molta carica o ingegnerizzare ali meccaniche ad alta efficienza energetica, i nostri coleotteri e i loro muscoli super efficienti manterranno un discreto vantaggio sui volatori interamente artificiali.

Tra tutte le possibili implicazioni del nostro lavoro, la più importante è di natura etica. Con il progredire della miniaturizzazione della tecnologia informatica e della nostra conoscenza dei sistemi biologici, saremo sempre più tentati di introdurre interfacce sintetiche con cui controllare i processi che avvengono negli organismi. Risolvendo i dettagli negli insetti potremo evitare errori e false partenze in organismi superiori, per esempio ratti, topi e infine esseri umani. Inoltre tutto questo, tra le altre cose, permetterà di rinviare molte delle questioni etiche più profonde sul libero arbitrio, che diventerebbero più pressanti se questo lavoro sperimentale venisse fatto su vertebrati. Lo sviluppo di coleotteri cyborg non sostituirà l'obiettivo fondamentale della ricerca, cioè la costruzione di robot artificiali, dato che spesso nella costruzione di macchine riusciamo a fare meglio della natura. Ma la disciplina che aspira a integrare la materia organica con quella sintetica è solo all'inizio. ■

LETTURE

A Radiotelemetric 2-Channel Unit for Transmission of Muscle Potentials during Free Flight of the Desert Locust, *Schistocerca gregaria*. Fischer H., Kautz H. e Kutsch W., in «Journal of Neuroscience Methods», Vol. 64, n. 1, pp. 39-45, gennaio 1996.

Wing Rotation and the Aerodynamic Basis of Insect Flight. Dickinson M.H., Lehmann F. O. e Sane S. P., in «Science», Vol. 284, pp. 1954-960, 18 giugno 1999.

A Dual-Channel FM Transmitter for Acquisition of Flight Muscle Activities from the Freely Flying Hawkmoth, *Agrius convolvuli*. Ando N., Shimoyama I. e Kanzaki R., in «Journal of Neuroscience Methods», Vol. 115, n. 2, pp. 181-187, aprile 2002.

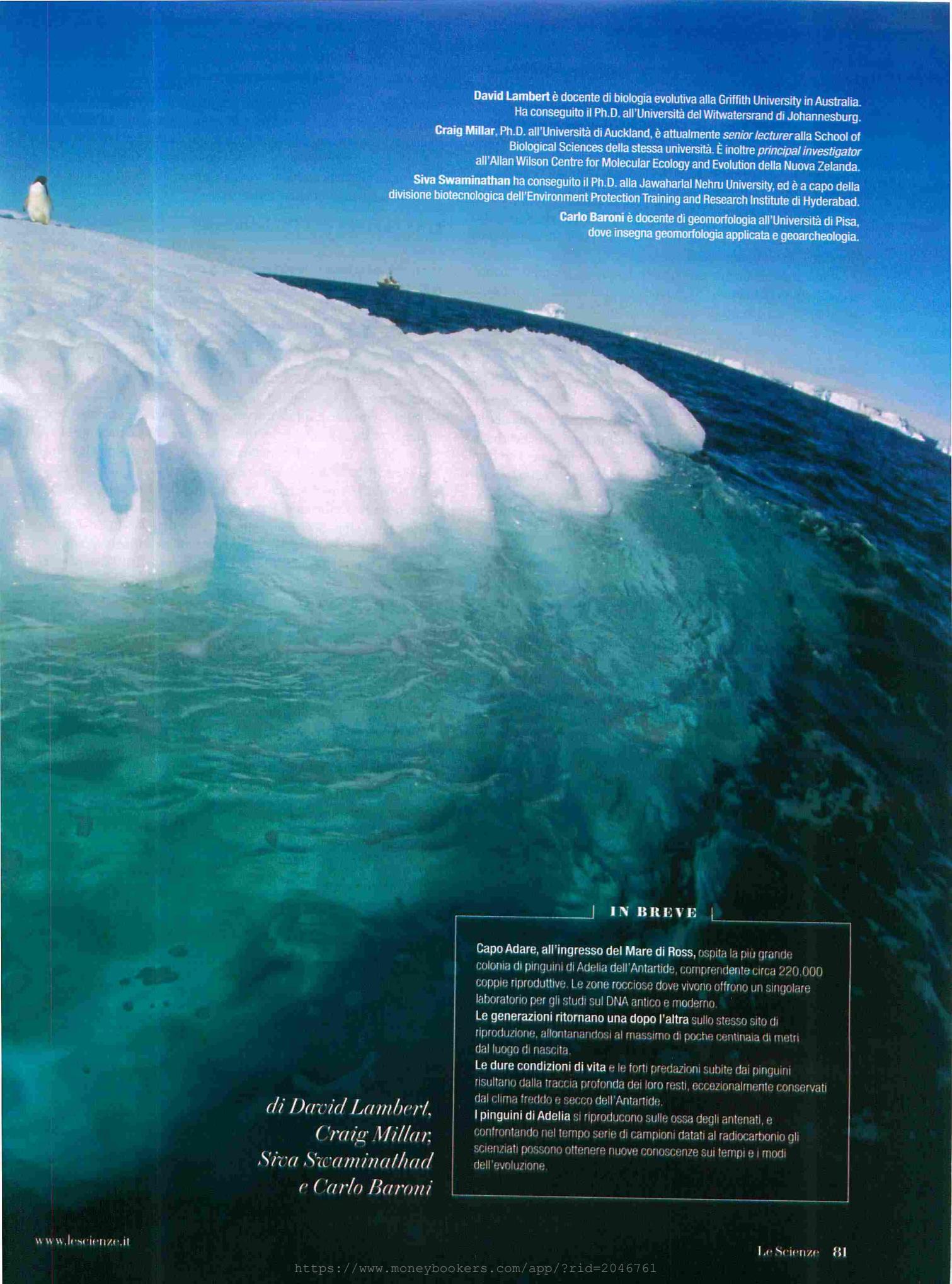
Remote Radio Control of Insect Flight. Sato H., Berry C. W., Peeri Y. e altri, in «Frontiers in Integrative Neuroscience», Vol. 3, articolo 24, 5 ottobre 2009.

Video di coleotteri cyborg in volo sono disponibili sul sito di «Le Scienze»: **http://www.lescienze.it.**

BIOLOGIA EVOLUTIVA

Evoluzione tra i ghiacci

Alcuni studi sull'antico DNA dei pinguini di Adelia, insieme a un quadro dettagliato del passato geologico dell'Antartide, gettano nuova luce sui meccanismi dell'evoluzione

Colin Monteath/Minden Pictures

David Lambert è docente di biologia evolutiva alla Griffith University in Australia. Ha conseguito il Ph.D. all'Università del Witwatersrand di Johannesburg.

Craig Millar, Ph.D. all'Università di Auckland, è attualmente *senior lecturer* alla School of Biological Sciences della stessa università. È inoltre *principal investigator* all'Allan Wilson Centre for Molecular Ecology and Evolution della Nuova Zelanda.

Siva Swaminathan ha conseguito il Ph.D. alla Jawaharlal Nehru University, ed è a capo della divisione biotecnologica dell'Environment Protection Training and Research Institute di Hyderabad.

Carlo Baroni è docente di geomorfologia all'Università di Pisa, dove insegna geomorfologia applicata e geoarcheologia.

di David Lambert, Craig Millar, Siva Swaminathad e Carlo Baroni

IN BREVE

Capo Adare, all'ingresso del Mare di Ross, ospita la più grande colonia di pinguini di Adelia dell'Antartide, comprendente circa 220.000 coppie riproduttive. Le zone rocciose dove vivono offrono un singolare laboratorio per gli studi sul DNA antico e moderno.

Le generazioni ritornano una dopo l'altra sullo stesso sito di riproduzione, allontanandosi al massimo di poche centinaia di metri dal luogo di nascita.

Le dure condizioni di vita e le forti predazioni subite dai pinguini risultano dalla traccia profonda dei loro resti, eccezionalmente conservati dal clima freddo e secco dell'Antartide.

I pinguini di Adelia si riproducono sulle ossa degli antenati, e confrontando nel tempo serie di campioni datati al radiocarbonio gli scienziati possono ottenere nuove conoscenze sui tempi e i modi dell'evoluzione.

Un'idea fondamentale della biologia evolutiva è che gli animali sono adatti all'ambiente in cui vivono. Ma gli ambienti sono instabili e, quando si trasformano, le popolazioni animali rispondono al cambiamento. Dai parassiti negli intestini dei vertebrati agli abitanti degli abissi tropicali, fino agli animali che vivono sottoterra, le specie trovano il modo di proseguire e sopravvivere.

Non c'è ambiente più estremo dell'Antartide. Durante l'inverno, il continente e il mare che lo circonda sono al buio 24 ore su 24, e il termometro scende fino a –40 gradi e oltre. In questo periodo i pinguini di Adelia (*Pygoscelis adeliae*) vivono sulla banchisa galleggiante al largo della costa. Quando arriva l'estate, la luce splende 24 ore al giorno e la vita diventa più facile, ma le temperature più miti non superano ancora i 4 gradi sotto zero. In questa stagione, i pinguini si spostano sul continente per nidificare, accoppiarsi, crescere i piccoli e poi ritornare al mare. L'idoneità di questi animali alle loro condizioni di vita è evidente. La forma idrodinamica del corpo, per esempio, molto simile a quella delle foche, è perfetta per l'ambiente marino, e alcuni adattamenti fisici e metabolici permettono loro di sfidare le gelide temperature della terra e del mare.

Sappiamo però che quando l'ambiente cambia – per esempio quando le temperature aumentano e diminuiscono – molte specie, anziché adattarsi alle nuove condizioni, si spostano per rimanere entro i limiti del clima preferito. Nelle epoche in cui il clima era decisamente più rigido del nostro, come nelle fasi fredde del Pleistocene (fra 2,5 milioni e 11.700 anni fa), per un pinguino di Adelia l'Antartide non era il luogo ideale in cui vivere. Quasi tutto il continente era ricoperto di neve e ghiaccio, e poiché i pinguini di Adelia si riproducono soltanto in zone libere dai ghiacci, i terreni disponibili erano molto limitati. Tuttavia non ci sono indizi di un loro spostamento per raggiungere zone più calde dove riprodursi.

In un mondo sempre più minacciato dal riscaldamento globale e, in particolare, dalla probabilità di un innalzamento delle temperature, è opportuno dedicare un po' di attenzione ai pinguini di Adelia. Insieme ai pinguini Imperatore, sono gli unici a nidificare esclusivamente sul continente antartico o sulle isole vicine, e gli unici in assoluto a scegliere soltanto le zone non ghiacciate (l'Imperatore preferisce il ghiaccio). Altre specie affini, come i pinguini dal collare e i papua, si riproducono soprattutto sulle isole del subcontinente antartico. Se le temperature globali dovessero aumentare, i pinguini di Adelia non potrebbero migrare verso un'area più fredda del continente: poiché vivono già nella parte più gelida della Terra, non avrebbero nessun posto dove andare. Questo fa di loro la specie ideale per studiare l'evoluzione adattativa nel contesto del cambiamento climatico globale.

L'Antartide del Pleistocene

In Antartide, il Pleistocene fu contraddistinto da ripetuti fenomeni di espansione e contrazione di immense placche di ghiaccio marino (spesse superfici di ghiaccio galleggiante che si formano là dove i ghiacciai, giunti in corrispondenza della costa, si protendono verso il mare), nonché da fluttuazioni nel volume di ghiaccio presente sulla massa continentale. Questi cambiamenti devono aver causato vaste distruzioni alle popolazioni animali e ai loro habitat. I pinguini di Adelia sono soliti riprodursi in grandi colonie nelle zone rocciose non ghiacciate vicino al mare; in Antartide fluttuazioni anche minime nel volume di ghiaccio possono avere un impatto significativo sul numero e l'estensione delle aree libere dai ghiacci. Durante il periodo dell'ultimo massimo glaciale (tra 25.000 e 18.000 anni fa), l'intera fascia costiera del Mare di Ross era inadatta all'insediamento dei pinguini di Adelia, data l'estensione della Piattaforma di Ross; la stessa Isola di Ross si trovava all'interno, a quasi 900 chilometri dal bordo di ghiaccio e dal mare aperto. Questi eventi glaciali hanno certamente influenzato il numero di pinguini presenti sul continente, la loro distribuzione e la loro diversità genetica.

Come suggerito dalle osservazioni di Robert F. Scott all'inizio del secolo scorso, durante l'ultimo massimo glaciale l'Antartide era ricoperta da un'estesa coltre ghiacciata che avanzava lungo la piattaforma continentale, con le aree costiere sepolte sotto centinaia di metri di ghiaccio. Nella Baia di Ross la costa si liberò dai ghiacci solo circa 8000 anni fa, dopo il ritiro delle placche dell'ultimo massimo glaciale e delle piattaforme ghiacciate circostanti.

L'ubicazione delle morene – depositi di detriti sabbiosi e rocciosi lasciati dal ritiro dei ghiacciai – in zone libere dai ghiacci documenta le fluttuazioni nell'estensione dei ghiacciai. Lungo la linea costiera bassa e rocciosa del Mare di Ross affiorarono le spiagge e le terrazze marine dell'Olocene (risalente a circa 11.000 anni fa), risultato delle variazioni del livello del mare causate dalle grandi quantità d'acqua rilasciata dal ritiro dei ghiacciai, assieme all'ag-

IL CICLO DELLA RIPRODUZIONE

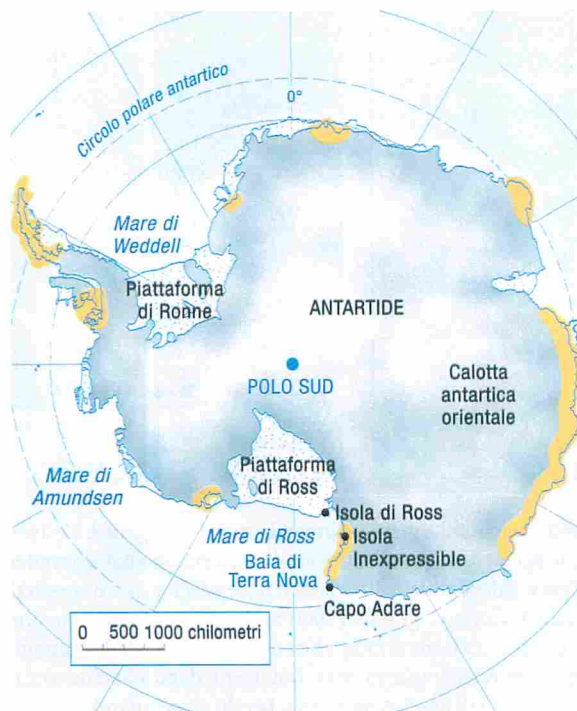
Per i pinguini di Adelia dell'Isola di Ross, la stagione riproduttiva comincia verso la fine di ottobre, quando ha inizio la primavera antartica. Nelle altre stagioni questi uccelli amano spostarsi per qualche centinaio di chilometri a nord delle spiagge del continente antartico, prima di tornare ai loro terreni di riproduzione. Le dimensioni delle colonie possono variare da qualche decina di coppie fino a oltre 200.000. Le femmine dei pinguini di Adelia depongono due uova, dopo di che i genitori condividono l'incombenza di covare le uova e fare rifornimento di cibo.

Ottobre: arrivo alla colonia; accoppiamento e nidificazione

Novembre:

In basso da sinistra: Hiroya Minakuchi/Minden Pictures; Flip Nicklin/Minden Pictures; Hiroya Minakuchi/Minden Pictures

MAPPA DELLA DISTRIBUZIONE

Requisiti ambientali stringenti

I pinguini di Adelia sono distribuiti sporadicamente lungo l'intera costa antartica e su alcune isole vicine, per una popolazione totale di circa cinque milioni di individui. Nell'insieme, i loro requisiti per un habitat accettabile sono piuttosto stringenti. Se si forma troppo ghiaccio marino la migrazione verso i siti di riproduzione può diventare eccessivamente lunga; se il ghiaccio è troppo limitato possono risentirne le modalità di caccia durante la stagione non riproduttiva. Per la nidificazione, infine, hanno bisogno di un terreno non ghiacciato.

Tui De Roy/Minden Pictures; cortesia Brian Karl/Landcare Research; Yva Momatiuk & John Eastcott/Minden Pictures

giustamento isostatico e all'affioramento di masse terrestri che, durante l'ultimo massimo glaciale della cintura costiera antartica, erano sommerse sotto l'immenso peso del ghiaccio.

Verso l'Olocene

I pinguini di Adelia sono la specie terrestre prevalente in Antartide. Secondo l'ecologista David Ainley sono il campanello d'allarme del cambiamento climatico, anche perché si sono adattati a un *optimum* ambientale alquanto ristretto fra troppo e troppo poco ghiaccio marino. Questi animali sono sopravvissuti a drastiche variazioni della temperatura. Negli ultimi 2 milioni di anni, in Antartide come altrove, si sono susseguite diverse ere glaciali. La prova di questi eventi, direttamente preservata nella calotta orientale, indica che le ere glaciali si sono verificate regolarmente ogni 41.000 anni nel primo Pleistocene e ogni 100.000 anni circa a partire da 430.000 anni fa. Durante l'ultima transizione glaciale-interglaciale (tra 18.000 e 12.000 anni fa circa), il cambiamento climatico dell'Antartide fu il più estremo di tutta la Terra, con temperature medie in rialzo di almeno 10-12 gradi. Dopo quel periodo i pinguini di Adelia sono stati numerosi nell'antartico, in termini sia di biomassa totale sia di numero di individui riproduttivi. David Ainley stima che l'attuale popolazione di pinguini di Adelia si aggiri intorno ai 5 milioni di unità.

I pinguini di Adelia si riproducono in colonie nelle aree libere dai ghiacci della costa antartica, e su alcune isole al largo della fascia costiera. Sul continente hanno una distribuzione disomogenea, forse anche per il criterio adottato nella scelta dei luoghi di riproduzione. Questi uccelli costruiscono i nidi con ciottoli di dimensioni molto specifiche; nelle aree dove l'acqua del disgelo può inondare i terreni di riproduzione, i sassi del nido servono a mantenere uova e pulcini sopra la superficie, dove possono restare asciutti. Ainley ha identificato alcuni tratti comuni nelle colonie riproduttive, fra cui la stretta vicinanza alla banchisa durante l'inverno e l'inizio della primavera, e la possibilità di arrivare al mare camminando durante l'estate. Nel 1915 l'esploratore inglese George Levick notò l'importanza dei luoghi caratterizzati da vento forte, suggerendo che le folate servissero a ripulire il terreno dalla neve.

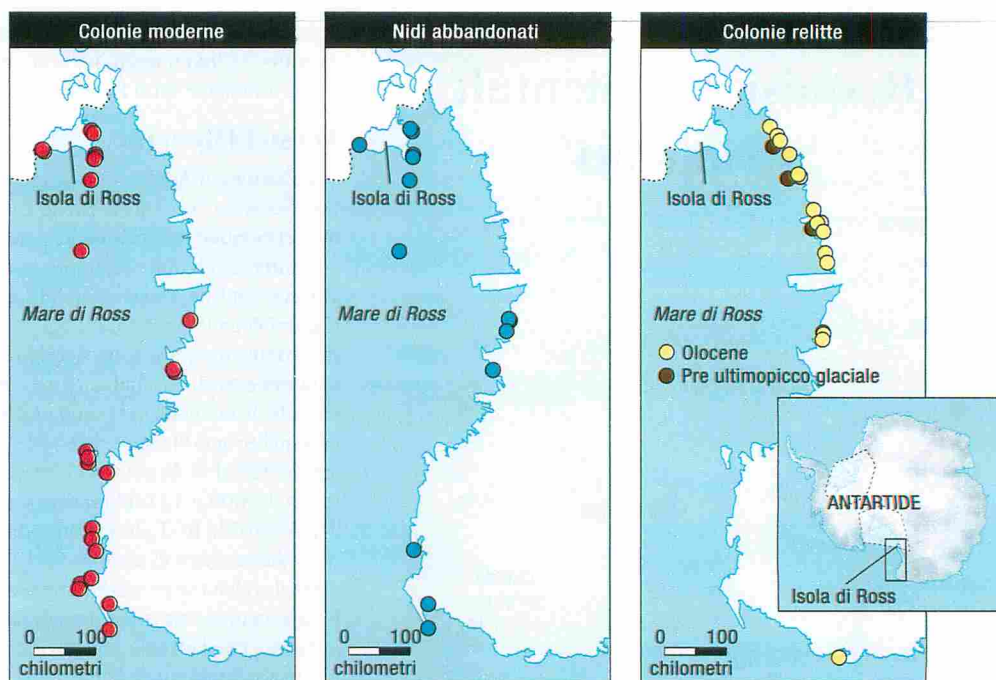
Le dimensioni delle colonie dei pinguini di Adelia sono molto variabili; si va dai 100 esemplari fino alla colonia più grande, quella di Capo Adare, sul Mare di Ross, che conta circa 220.000 coppie riproduttive. Attualmente conosciamo 24 colonie riprodut-

leposizione delle uova

Dicembre: schiusa delle uova

Gennaio: allevamento dei pulcini (nursery)

Febbraio: svezzamento e muta delle piume

Colonie e ambiente. Le mappe a fianco mostrano la distribuzione nel tempo dei pinguini di Adelia nel Mare di Ross. I cambiamenti nella temperatura e nelle condizioni del ghiaccio rendono l'ambiente più o meno idoneo agli Adelia e ai loro rivali ecologici, gli elefanti marini. Applicando comuni tecniche di ricerca archeologica, è stato possibile identificare nel suolo ornitogenico le fasi di colonizzazione, abbandono e ricolonizzazione.

tive lungo la costa del Mare di Ross, e di un gran numero di siti riproduttivi abbandonati fra la Baia Terranova e l'Isola di Ross.

I pinguini di Adelia cominciano il loro ciclo annuale di riproduzione durante la primavera antartica, fra l'ultima settimana di ottobre e i primi di novembre, quando i maschi arrivano ai siti della colonia sull'Isola di Ross in media quattro giorni prima delle femmine. Questi uccelli sono generalmente monogami; i maschi cominciano a riprodursi fra i 5 e i 7 anni, le femmine fra i 4 e i 6. A metà novembre le femmine depongono due uova, che poi abbandonano per 8-14 giorni per andare a fare scorta di cibo in mare. Durante questo periodo le uova vengono covate dai maschi. Poi gli adulti si danno il cambio, e chi non si occupa della cova torna verso il mare alla ricerca di nutrimento.

Una caratteristica della specie è la grande fedeltà al sito di riproduzione. Stando ai dati raccolti da Ainley, il 96 per cento degli uccelli ha nidificato nella colonia natale, e il 77 per cento entro 100 metri dal luogo di nascita. È chiaro, però, che le condizioni ambientali possono interferire seriamente con questo alto tasso di ritorno. La possibilità di trovare cibo in mare e provvedere al sostentamento della prole può essere minata, per esempio, dallo stabilirsi vicino alle colonie riproduttive di massicci iceberg, che aumentano notevolmente la distanza da percorrere per arrivare al mare aperto.

Dopo circa tre settimane dalla schiusa, i pulcini cominciano a lasciare il nido per essere allevati in gruppo con altri coetanei, formando le cosiddette *nursery*. In questo periodo, dato l'aumento di taglia dei piccoli, è necessario che entrambi i genitori provvedano al cibo in mare; al ritorno riconosceranno i figli in mezzo alla moltitudine di giovani nella nursery grazie ai loro richiami. Verso i primi di febbraio i piccoli cominciano a mettere le piume.

Durante la stagione riproduttiva le colonie sono luoghi difficili, perché il tasso di predazione delle uova e dei pulcini è altissimo. Le spoglie rimangono sul terreno per stagioni, ben conservate dal clima freddo e secco dell'Antartide, finché vengono seppellite dai resti di nuovi nidi e altri tipi di depositi. Il guano dei pinguini filtra attraverso i permeabili nidi di ciottoli, e vi si accumula alla base. Ogni successiva occupazione della colonia crea uno strato di ciottoli, resti di pinguini e guano, formando suoli ornitogenici. L'estensione e lo spessore di questi strati organici dipendono dalla grandezza, dall'età e dalla durata della colonia: più è vecchia, più è spesso l'accumulo di ciottoli e guano. I suoli ornitogenici contengono quindi una documentazione stratigrafica ben sviluppata delle colonie dei pinguini di Adelia: guano, ossa, frammenti di guscio d'uovo e resti di cibo (otoliti di pesci, ossa e denti, becchi di calamaro).

Il nostro gruppo di ricerca effettua regolari scavi nelle antiche colonie per recuperare questi resti, preziosi per le datazioni al carbonio-14 e le analisi del DNA. Centinaia di questi reperti raccolti nei suoli ornitogenici rivelano la passata esistenza di zone costiere libere dai ghiacci e adatte, quindi, alla nidificazione e alla riproduzione dei pinguini. Lungo la costa della Terra della Regina Vittoria, due recenti set di datazioni al radiocarbonio indicano un'occupazione nel tardo Pleistocene, fra i 45.000 e 25.000 anni fa, e una successiva ricolonizzazione nell'Olocene. Le datazioni dei suoli ornitogenici e di altri materiali organici hanno inoltre permesso di ricostruire il ritiro dei ghiacciai dalle zone costiere dopo l'ultimo massimo glaciale, e la successiva emersione della linea costiera nell'Olocene, circa 8000 anni fa.

I suoli ornitogenici che si trovano nei pressi delle colonie attuali occupate suggeriscono che le popolazioni di pinguini abbiano avuto ripetute espansioni e contrazioni durante l'Olocene. I nidi abbandonati sono facilmente identificabili come sedimenti di ciottoli bene ordinati. Sulla superficie di questi siti, una volta abbandonati e battuti dai venti, resta una concentrazione di ciottoli che protegge dall'erosione gli strati di guano sottostanti.

Siti di nidificazione abbandonati, presenti in aree dove oggi i pinguini di Adelia non nidificano, sono stati identificati come colonie relitte e sono comuni al territorio lungo le coste antartiche. L'esatta indagine geomorfologica delle zone libere dai ghiacci ha portato alla scoperta di dieci colonie relitte. Applicando tecniche della ricerca archeologica, come il preciso scavo stratigrafico degli insediamenti dei pinguini, siamo stati in grado di identificare le fasi di occupazione e abbandono delle colonie relitte; le varie fasi sono infatti separate da strati minerali come strati di depositi eo-

Vivian Ward (*disegno*)

Yva Momatiuk & John Eastcott/Minden Pictures

lici, di detriti di sabbia e ghiaia di origine colluviale o periglaciale e così via. Da questi dati siamo riusciti a ricostruire la storia delle popolazioni di pinguini.

Nell'area del Mare di Ross la loro ricolonizzazione è strettamente associata alla presenza dell'elefante marino (*Mirounga leonina*) e alla sua distribuzione, in rapporto alle condizioni più calde dell'area rispetto a oggi. Dopo la deglaciazione, e fino a circa 4000 anni fa, le due specie coesistevano lungo la costa della Terra della Regina Vittoria, rivelando quindi che il ghiaccio marino – la condizione preferita dagli elefanti marini – era presente in quantità inferiore rispetto a ora ma riservava ancora una porzione di banchisa sufficiente all'insediamento dei pinguini di Adelia. Fra i 4500 e i 2500 anni fa si è registrato l'«*optimum* dei pinguini», un periodo di condizioni ambientali particolarmente favorevoli a questi animali. In questo arco di tempo vi fu un più vasto insediamento di pinguini nelle aree costiere. Ora le colonie sono di meno, una riduzione associata al calo della popolazione di elefanti marini. L'improvvisa diminuzione delle colonie e delle popolazioni di pinguini si verificò circa 2500 anni fa.

Dai 2300 ai 1100 anni fa, lo stabilirsi e il persistere delle condizioni climatiche dell'Antartide inibì l'insediamento di colonie di pinguini di Adelia, come documentato dalla contemporanea diffusione degli elefanti marini. Questo periodo corrisponde alla più grande riduzione di ghiaccio marino (e probabilmente alla più bassa temperatura dell'oceano e delle temperature esterne) nel Mare di Ross degli ultimi 8000 anni. Negli ultimi 1000 anni le popolazioni di pinguini si sono di nuovo ampliate, mentre gli elefanti marini hanno abbandonato la zona.

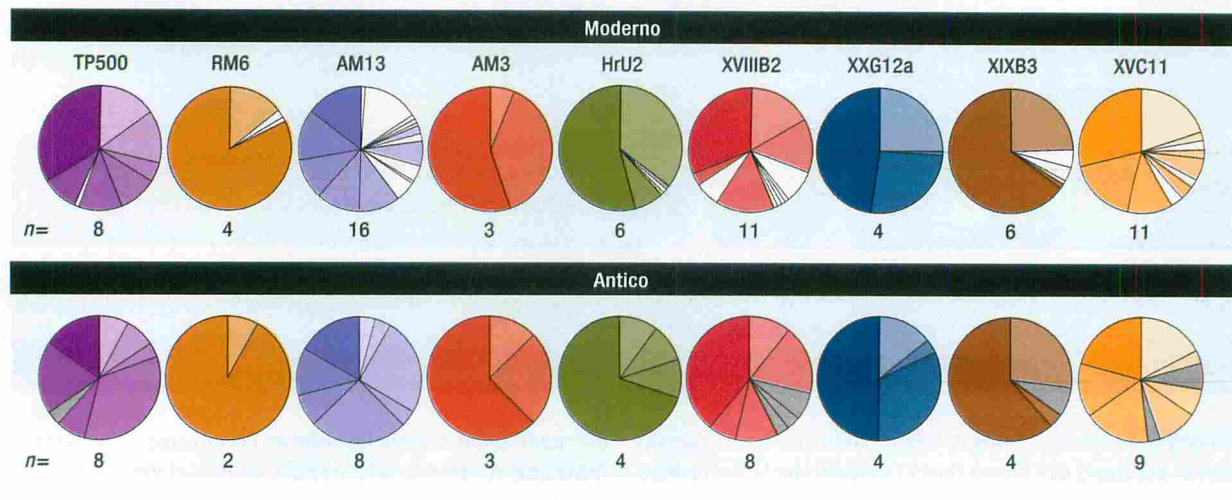
Contare il tempo dell'evoluzione

Il quadro dettagliato della storia glaciale dell'Antartide, e le variazioni nel numero e nella distribuzione dei pinguini di Adelia offrono lo sfondo necessario per il nostro studio dei meccanismi dell'evoluzione all'opera. In linea di principio, confrontando sequenze di DNA provenienti dalle stesse regioni genomiche e appartenenti a individui della stessa specie ma vissuti in periodi differenti, si dovrebbero identificare i cambiamenti evolutivi verificatisi nel tempo e la velocità delle mutazioni genetiche. Perché è importante misurare questa velocità?

Per i biologi, misurare la velocità dell'evoluzione è importante quanto per i fisici misurare la velocità della luce. Conoscere il tasso di variazione del DNA nel tempo è significativo per varie discipline, dalla biologia forense a quella evolutiva, fino alla tassonomia. Permette ai biologi di determinare i tempi di eventi evolutivi importanti nella storia della vita e, più in generale, fornisce un «orologio» dell'evoluzione vera e propria. Se, per esempio, confrontiamo il DNA di individui ancora viventi con quello di chi è vissuto oltre 1000 o 2000 anni fa, le variazioni temporali possono rivelare la velocità dell'evoluzione e persino qualcosa sulla sua natura. Ma per queste analisi occorrono serie di campioni preservati da una precisa epoca di cui è possibile avere gli antichi DNA, nonché campioni di animali viventi delle stesse specie. Il mammut lanoso e gli uomini di Neanderthal non sono adatti per questo tipo di studi evolutivi, perché non esistono popolazioni viventi di queste specie. E di certo l'antico DNA non è disponibile per tutte le specie. Il DNA si conserva meglio alle basse temperature e in condizioni di clima secco. Difficilmente le specie che vivono nelle regioni equatoriali e negli ambienti umidi sono adatte per questo studio. Non sorprende quindi che molte ricerche sugli antichi DNA si siano concentrate su specie animali che abitavano nelle regioni polari e temperate. Questi studi hanno molto migliorato le nostre conoscenze sul tasso di mutazione molecolare, sulla biologia delle popolazioni antiche e sulla quantità di mutazioni genetiche perse o guadagnate nel tempo.

L'evoluzione consiste di cambiamenti nel genoma, alcuni in regioni del DNA sotto il nostro controllo selettivo, altri in sequenze neutrali. Di solito gli studi evolutivi si concentrano sulle sequenze neutrali, perché quelle sotto il nostro controllo selettivo risentono delle variazioni ambientali contingenti e non hanno quasi mai un ritmo di cambiamento costante. L'evoluzione riguarda sia il genoma mitocondriale sia quello nucleare. Il DNA mitocondriale è stato oggetto di diversi studi sui genomi antichi, perché ogni cellu-

I segni dell'evoluzione nel nucleo cellulare

Quasi tutti gli studi sul genoma antico si concentrano sul DNA mitocondriale, presente in molte copie all'interno di ogni cellula, e che nei campioni antichi offre segmenti di DNA più lunghi. Ma l'eccellente conservazione del materiale biologico nel clima freddo e secco dell'Antartide rende possibile studi comparati di DNA antico usando materiale genetico nucleare. Qui sono raffigurate le frequenze alleliche di nove loci microsatelliti di DNA nucleare. Gli alleli accoppiati hanno lo stesso colore. Le dimensioni di ogni spicchio di un certo colore mostrano la differenza nella frequenza degli alleli fra i campioni moderni (*sopra*) e quelli antichi (*sotto*). Gli spicchi bianchi e grigi sono alleli privati, presenti solo nei campioni moderni o solo negli antichi.

la di un organismo vivente contiene migliaia di copie di DNA mitocondriale contro una sola copia di quello nucleare; perché i cambiamenti del DNA mitocondriale si verificano a ritmi altissimi e, infine, perché le sequenze antiche del DNA mitocondriale possono essere lunghe oltre 300 coppie di basi mentre le sequenze nucleari non superano, di norma, le 150 coppie di basi.

Tuttavia, considerata la straordinaria qualità del DNA degli antichi pinguini di Adelia, conservato nel deposito freddo e secco dell'Antartide, siamo stati tentati di ricostruire i *loci* di un campione di gene nucleare usando resti subfossili di uccelli riproduttivi provenienti dalla cosiddetta Isola Inexpressible del Mare di Ross. Usando nove loci di microsatelliti nucleari (i microsatelliti sono sequenze ripetute di poche coppie di basi di DNA) abbiamo analizzato la costituzione genetica di un'antica popolazione a partire da un singolo livello stratigrafico, usando due ossa datate al carbonio-14 risalenti a 6.082 ± 55 e 6.092 ± 60 anni fa. Le ossa subfossili di questa popolazione sono state estratte con un metodo stratigrafico che permette di identificare individui anche all'interno dello stesso strato. Dopo avere confrontato, nel medesimo luogo, le frequenze degli alleli nella popolazione antica e in quella moderna, abbiamo rilevato signficativi cambiamenti nelle frequenze di alleli su quattro dei nove loci esaminati, dimostrando un cambiamento microevolutivo nell'arco di 6000 anni. Questo risultato è stato la prima dimostrazione di una variazione nella frequenza degli alleli del genoma nucleare in un simile arco di tempo geologico.

Poiché la maggior parte dei loci microsatelliti sono non codificanti, difficilmente la selezione naturale ha un'influenza significativa sull'evoluzione di questi geni. Dai ritrovamenti in vari scavi nell'Isola Inexpressible si è visto che, durante i 6000 anni esaminati, la popolazione era piuttosto grande. Non si possono però escludere, in questo periodo di grandi cambiamenti nella frequenza dei geni, strozzature nelle dimensioni della popolazione.

Diversamente da altri marcatori genetici che tendono a mutare con le variazioni del singolo nucleotide, il tipo di mutazione dominante nei loci microsatelliti riguarda la lunghezza dei tratti ripetuti, dovuta a uno scivolamento (*slippage*) della polimerasi in fase di replicazione e a ineguali scambi di materiale genetico durante la ricombinazione. È noto che gli alleli dei microsatelliti del DNA, almeno quando sono corti e filogeneticamente giovani, tendono a cambiare di lunghezza nel tempo. Abbiamo quindi confrontato la lunghezza degli alleli in popolazioni antiche e moderne, scoprendo che, in quattro dei nove loci esaminati, la popolazione antica ha alleli decisamente più corti rispetto a quella moderna. In quest'ultima, tre dei loci rimanenti presentavano alleli più lunghi, ma le differenze erano troppo piccole per essere statisticamente significative. Inoltre, la popolazione antica era caratterizzata da alleli privati (alleli che appartengono solo a una popolazione) corti, mentre la popolazione moderna rivela un numero più elevato di alleli privati che sono generalmente delle varianti più lunghe di ogni singolo locus. Abbiamo dunque identificato i processi mutazionali – errori durante la replicazione del DNA risultanti nelle variazioni di lunghezza – che hanno contribuito al cambiamento rilevato.

Il racconto del DNA mitocondriale

Oltre alle scoperte sul DNA nucleare, siamo riusciti a stabilire i tassi di variazione molecolare studiando le variazioni delle sequenze di DNA mitocondriale, sulla base di alcune serie di reperti subfossili dei pinguini di Adelia. Abbiamo così trovato tassi più elevati di altri stabiliti in precedenza, confermati con differenti metodi di analisi. Il tasso di evoluzione molecolare della regione HVRI, determinata usando DNA di 162 ossa subfossili relativi a un arco di circa 37.000 anni, era di 0,86 sostituzioni per sito ogni milione di anni.

Di recente abbiamo inoltre sequenziato i genomi mitocondriali completi di pinguini di Adelia di età superiore ai 44.000 anni.

Norbert Wu/Minden Pictures (*pagina a fronte*)

Siamo così riusciti a determinare il tasso di cambiamento molecolare dell'intero genoma mitocondriale, nonché quello dei componenti del genoma, come le sequenze che codificano l'RNA transfer e l'RNA ribosomiale, oppure le regioni dove vengono codificate le proteine. Per quanto riguarda queste ultime, siamo riusciti a calcolare i tassi di siti sinonimi (dove le variazioni rilevate non cambiano le sequenze di amminoacidi delle proteine codificate) e siti non sinonimi (dove le sequenze di amminoacidi codificate dagli alleli sono differenti). Sono valori generalmente elevati, e indicano una velocissima evoluzione molecolare nel tempo geologico.

L'osservazione diretta del tasso di mutazione (ottenuta dai campioni moderni) e dei più lunghi tassi di mutazione del cambiamento molecolare (ottenuti confrontando DNA antico e moderno) ci aiuterà a capire il ritmo della variazione genetica e quanto si conserva. Sono fenomeni correlati? Forse i ritmi che abbiamo scoperto sono elevati per via degli alti tassi di mutazione? Usando i pinguini di Adelia, siamo riusciti a studiare sia i processi di mutazione sia quelli evolutivi. Prelevando campioni di sangue da uccelli adulti e dai loro piccoli, abbiamo potuto individuare nuove mutazioni e capire se erano mutazioni germinali ereditate attraverso le generazioni.

I nostri risultati sono stati sorprendenti. Abbiamo sequenziato il DNA della regione mitocondriale HVR I dei pinguini comprendendo un gran numero di famiglie. Il nostro campione consisteva di oltre 900 piccoli ed entrambi i genitori di ogni piccolo. Abbiamo rilevato, sia nelle madri sia nella prole, un totale di 62 mutazioni eteroplasmiche germinali (quelle in cui due varianti di DNA sono registrate nella stessa posizione del genoma mitocondriale all'interno dello stesso individuo). Per ogni sito, i dati evidenziano un ritmo di 0,55 mutazioni ogni milione di anni, tenendo conto della persistenza di queste eteroplasmie e della sensibilità delle tecniche di rilevazione. L'aspetto importante è che questo valore non è molto diverso da quello del cambiamento evolutivo stimato sulla base dei reperti subfossili.

Questo studio suggerisce che i ritmi di cambiamento molecolare – il tasso di mutazione fra una generazione e l'altra e quello dei cambiamenti evolutivi che si verificano in più lunghi periodi di tempo – non hanno differenze sostanziali. La sfida ora è reperire regioni del genoma nucleare più lunghe e concentrarsi su quelle che possono aiutare questi straordinari uccelli a rispondere alle sfide del cambiamento climatico.

Per riprendere una celebre metafora, l'Antartide è un eccezionale «teatro ecologico» dove si svolge un «dramma evolutivo» di cui i pinguini di Adelia sono gli interpreti principali. Poiché la natura del teatro cambia a ogni era glaciale o, nel nostro caso, a ogni periodo di riscaldamento interglaciale, cambia anche il copione. Ma sarà sempre così? Quando il pianeta si riscalderà, i pinguini di Adelia non avranno un clima più freddo dove fuggire. O si adatteranno, o moriranno. I ricercatori possono solo attendere di leggere il nuovo copione nelle variazioni alleliche del DNA dei pinguini. ■

LETTURE

The Adélie Penguin. Bellwether of Climate Change. Ainley D.G., Columbia University Press, New York, 2002.

Abandoned penguin rookeries as Holocene palaeoclimatic indicators in Antarctica. Baroni C. e Orombelli G., in «Geology», n. 22, 1994.

Holocene elephant seal distribution implies warmer-than-present climate in the Ross Sea. Hall B.L. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 103, 2006.

L'originale di questo articolo è stato pubblicato su «American Scientist», Vol. 98, settembre-ottobre 2010.

Andreas Schäfer è direttore del Martin Center for Architectural and Urban Studies all'Università di Cambridge e ricercatore associato al Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Henry D. Jacoby è condirettore del MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change e professore di management alla Sloan School of Management del MIT.

John B. Heywood è Sun Jae professor al Dipartimento di ingegneria meccanica e direttore dello Sloan Automotive Laboratory al MIT.

Ian A. Waitz è Jerome C. Hunsaker professor al Dipartimento di aeronautica e astronautica del MIT, di cui è direttore.

L'altra minaccia i trasporti

di Andreas Schäfer, Henry D. Jacoby, John B. Heywood e Ian A. Waitz

Da quando i fratelli Wright inventarono il primo aeroplano a motore e Henry Ford realizzò la prima utilitaria, l'innovazione nel campo dei trasporti ha fatto passi da gigante. I continui progressi tecnologici e la riduzione dei costi hanno reso possibile una crescita senza precedenti della mobilità, che a sua volta ha consentito una crescita economica globale straordinaria. Anche se è passato un secolo, però, i derivati del petrolio alimentano ancora i mezzi di trasporti in tutto il mondo.

Per molti decenni e per diverse ragioni l'uso di questi carburanti ha avuto senso. I derivati del petrolio sono liquidi a temperatura e pressione ordinarie, e quindi sono trasportati e immagazzinati con facilità. Inoltre hanno il contenuto più elevato di energia per unità di volume rispetto a tutti gli altri carburanti e per unità di peso rispetto agli altri carburanti liquidi, qualità preziosa per gli aerei. Infine, per molti anni il petrolio è stato abbondante e a buon mercato, e secondo alcuni analisti sarà così per molti anni ancora.

Purtroppo, benzina, gasolio e cherosene generano anidride carbonica, il gas serra prodotto dall'uomo in maggiore quantità. Per questo i combustibili derivati dal petrolio sono tra i principali responsabili del cambiamento climatico. Date le dimensioni del sistema globale dei trasporti, il trasporto motorizzato è responsabile di circa il 23 per cento delle emissioni di anidride carbonica collegate alla produzione di energia, stimate in 31,5 miliardi di tonnellate nel 2008. Al trasporto passeggeri è dovuto il 60 per cento delle emissioni legate ai trasporti, e con il futuro sviluppo economico globale l'importanza relativa di questa fonte aumenterà. Immaginate l'impatto di centinaia di milioni di nuovi pendolari in Cina e in India che vanno al lavoro in automobile, e di abitanti dell'attuale mondo industrializzato sempre più abituati a viaggiare in aereo. E immaginate il resto del mondo che cerca di tenere il passo.

Per evitare una crescita incontrollata delle emissioni occorre capire meglio le tendenze globali nel campo dei trasporti. Per questo abbiamo raccolto dati che descrivono il volume di traffico in ciascuna regione del mondo a partire dal 1950 per ogni modalità

IN BREVE

La crescita della popolazione mondiale e l'incremento del reddito medio pro capite nelle diverse regioni del pianeta produrranno, nel prossimo futuro, un aumento globale della domanda di mobilità.

Le emissioni di gas serra legate al trasporto di passeggeri potrebbero dunque aumentare in modo incontrollato, visto che nonostante i progressi tecnologici dell'ultimo secolo ancora oggi il sistema globale dei trasporti è alimentato da combustibili derivati dal petrolio.

È possibile evitare un aumento incontrollato dei gas serra causato dalla crescente domanda di mobilità, ma è necessario investire in nuove tecnologie e nuovi carburanti.

Inoltre è necessaria un'azione dei governi che si sviluppi su due strategie. Una basata su regolamentazioni, l'altra basata su interventi sul mercato.

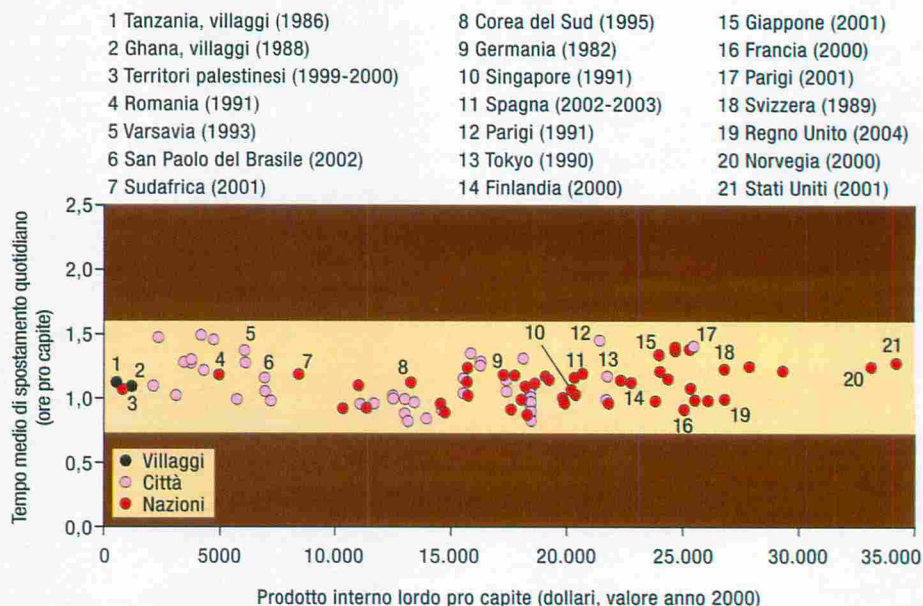
Ken Biggs/Getty Images

Un incremento globale della domanda di mobilità è inevitabile, ma è ancora possibile prevenire una crescita incontrollata delle emissioni legata agli spostamenti delle persone

climatica:

QUANTO CI SPOSTIAMO OGNI GIORNO

Un'ora (circa) per tutti e in ogni luogo

Il periodo di tempo trascorso viaggiando è sorprendentemente simile in ogni area del mondo, dai villaggi dell'Africa all'Europa alle regioni più ricche dell'Asia, pur nella diversità dei mezzi di trasporto. Gli abitanti del mondo industrializzato, dipendente dalle automobili, viaggiano in percentuale maggiore per attività di svago – circa la metà del tempo trascorso viaggiando – ma tuttavia ogni giorno si spostano per un periodo di tempo simile a quello degli abitanti dei paesi meno sviluppati, che spesso vanno a piedi o in bicicletta. Nel grafico, all'aumentare del reddito pro capite rimane costante il tempo medio di spostamento quotidiano, quantificato in ore per persona.

di trasporto. Con questa banca dati abbiamo studiato le relazioni fondamentali che in passato hanno regolato la trasformazione del sistema globale dei trasporti. Individuare queste forze e vincoli ci ha permesso di ipotizzare i probabili scenari futuri dei trasporti.

Abbiamo anche analizzato il modo in cui le scelte di industria e consumatori possono influenzare le emissioni. Queste analisi aiutano a capire quali modelli di autoveicoli, tecnologie aeronautiche e carburanti alternativi possono ridurre le emissioni con più efficacia. Tutto ciò serve a individuare le politiche da adottare per ottenere il cambiamento necessario. Visto che molte tecnologie e carburanti ecologici sono più costosi rispetto a quelli dominanti, non possiamo aspettare che il mercato risolva da solo il problema della riduzione delle emissioni dovute ai trasporti.

Le nostre prevedibili abitudini

Due fattori sono centrali nelle proiezioni sulla futura domanda di spostamento. Il primo è che in media le persone viaggiano per la stessa quantità di tempo indipendentemente dal reddito o dall'area geografica. I poveri abitanti dei villaggi africani si spostano per poco più di un'ora al giorno, soprattutto per procurarsi acqua e legna e per andare e tornare dai campi. I più fortunati abitanti delle società dipendenti dalle automobili, come Giappone, Europa e Stati Uniti, in cui metà degli spostamenti sono a scopo di svago, si spostano per un tempo simile (*si veda il box in alto*).

Il secondo è il collegamento tra reddito e mobilità: se cresce il prodotto interno lordo pro capite, aumentano i chilometri percorsi per passeggero. Questa relazione è valida per ogni cultura, sistema politico o livello di sviluppo (*si veda il box nella pagina a fronte*). I cicli economici e le oscillazioni del prezzo dei carburanti non hanno mai modificato questa legge sul lungo periodo. Per viaggiare di più nello stesso arco di tempo si adottano modalità più veloci: motorini e trasporti pubblici nelle regioni povere o aerei e treni ad alta velocità in quelle ricche.

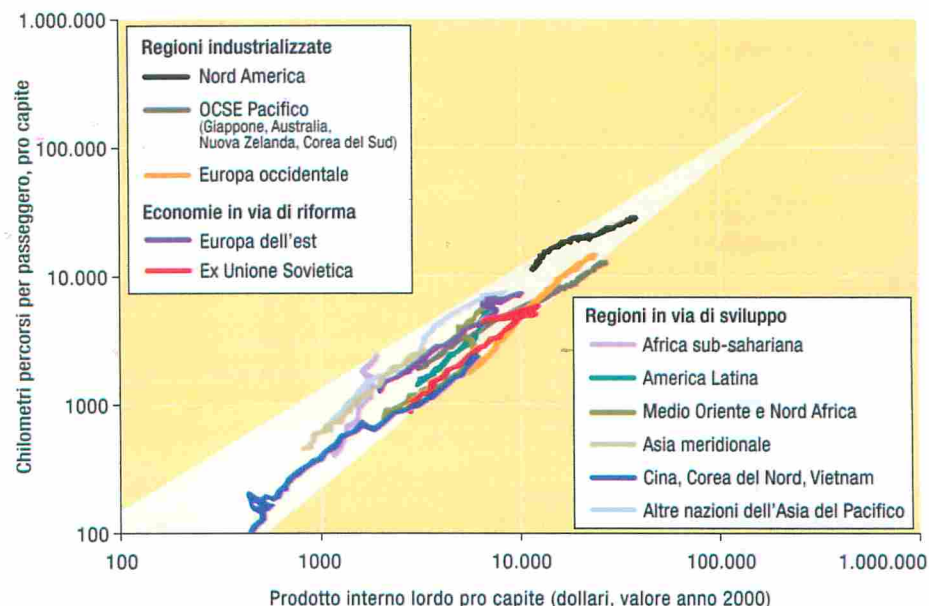
In effetti, lo sviluppo del trasporto motorizzato sembra evolvere in tre fasi distinte. Nel caso di una mobilità annua inferiore a 1000 chilometri per persona (meno di tre chilometri al giorno), i mezzi di trasporto pubblico a bassa velocità rappresentano la quasi totalità del volume di traffico. Questi mezzi sono sostanzialmente sistemi di trasporto pubblico urbano, ferrovie per pendolari, treni e autobus interurbani. Al livello successivo di sviluppo – una domanda annua tra 1000 e 10.000 chilometri per persona (tra 3 e 30 chilometri al giorno) – l'uso del trasporto pubblico a bassa velocità scende a una percentuale compresa tra il 10 e il 30 per cento del totale e aumenta l'uso di veicoli a motore leggeri. Si tratta principalmente di automobili, ma anche di mini-furgoni, furgoni, *pick-up* e SUV.

Infine, nel terzo stadio di sviluppo, livelli di mobilità pari o superiori a 10.000 chilometri a persona richiedono una percentuale sostanziale di traffico aereo o di trasporto ferroviario ad alta velocità (insieme sotto la voce «trasporto ad alta velocità», sebbene attualmente il traffico aereo sia la componente maggiore). In Nord America negli ultimi quarant'anni la quota di mercato del trasporto aereo è cresciuta a spese del trasporto automobilistico. Quasi tutto il traffico passeggeri è diviso tra automobili (81 per cento) e aerei (15 per cento); treni e autobus sono attivi soprattutto in aree urbane di dimensioni relativamente limitate.

Questi due fattori possono darci informazioni importanti sul futuro: se i costi medi di spostamento non cambieranno in modo radicale, l'aumento del reddito farà aumentare la domanda di mobilità. Parallelamente, il tempo fisso dedicato agli spostamenti indurrà i viaggiatori a usare mezzi più veloci. Secondo lo scenario intermedio previsto dall'ONU, entro il 2050 la popolazione mondiale dovrebbe aumentare del 44 per cento. Nello stesso periodo il prodotto mondiale lordo pro capite dovrebbe aumentare da 2,2 a 2,6 volte. Usando semplici modelli statistici, si prevede che gli spostamenti mondiali triplicheranno o quadruplicheranno entro la metà

Cortesia «American Scientist»

Passato, presente e futuro della mobilità

I chilometri percorsi per passeggero sono collegati con lo sviluppo economico (aumento del prodotto interno lordo pro capite). Le 11 traiettorie regionali rappresentano gli anni compresi tra il 1950 e il 2005. Il punto superiore della sezione ombreggiata è il livello di mobilità teorico massimo, raggiunto quando una popolazione usa solo la modalità di trasporto più veloce (l'aereo) in tutto il periodo di tempo trascorso viaggiando (1,2 ore al giorno pro capite). Sebbene lo sviluppo verso il punto limite sembri possibile entro la metà del secolo, molto probabilmente a lungo termine la capacità finita dello spazio aereo limiterà questa tendenza. A un certo punto, le traiettorie potrebbero fermarsi.

del secolo. Nei paesi in via di sviluppo la mobilità dei passeggeri potrebbe arrivare a un livello da tre a sei volte superiore rispetto al 2005. Nello stesso periodo si prevede che nel mondo industrializzato la domanda di mobilità diventi il doppio o quasi il triplo di quella attuale, mantenendo i livelli di mobilità pro capite più elevati del pianeta. Il Nord America rimarrebbe la regione con la maggiore mobilità pro capite media, passando dagli attuali 27.400 chilometri all'anno fino a valori compresi tra 39.000 e 48.000 chilometri nel 2050, in relazione al tasso di crescita economica.

Come avviene per la domanda di mobilità, anche il tipo di trasporto verso cui si orienteranno le persone seguirà probabilmente lo stesso andamento osservato fino a oggi. Le persone più benestanti sceglieranno mezzi di trasporto più rapidi. Se nel 2050 il tempo di spostamento per persona fosse vicino al livello attuale di 1,2 ore al giorno, il trasporto ad alta velocità potrebbe rappresentare due terzi del totale nel mondo industrializzato. Quasi tutto il traffico rimanente sarebbe dovuto alle automobili. Gli spostamenti con veicoli leggeri crescerebbero soprattutto nei paesi in via di sviluppo, fino a pesare tra 40 e 50 per cento del totale. Globalmente, le automobili potrebbero rappresentare oltre il 40 per cento del totale, il trasporto ad alta velocità quasi il 40 per cento, e il trasporto pubblico a bassa velocità il 20 per cento.

Nonostante la crescente dipendenza da mezzi ad alta velocità, specialmente nel mondo industrializzato, gli spostamenti quotidiani non cambierebbero in modo significativo rispetto a oggi. Data la velocità relativamente bassa delle automobili, i nordamericani trascorrerebbero ancora la maggior parte del tempo di viaggio in automobile (45 minuti al giorno). Il resto verrebbe trascorso in mezzi di trasporto pubblico a bassa velocità e, in quantità crescente, nei sistemi di trasporto ad alta velocità. Nelle aree dipendenti dal trasporto veloce, la rapidità di accesso al trasporto aereo diventerebbe cruciale. Molti imprenditori stanno già adottando modelli di business orientati a soddisfare questa domanda. Un modello impiega aerei leggeri con 4-6 passeggeri e piste di atterraggio a basso traffico per evitare i lunghi tempi di attesa al check-in e l'affollamento degli aeroporti principali.

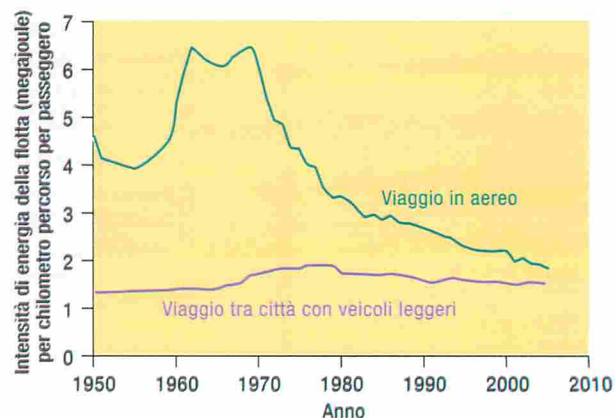
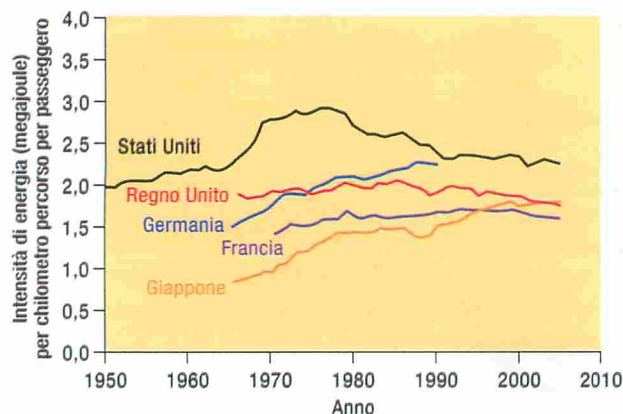
Maggiori comodità, maggiori emissioni

L'aumento della quantità di energia consumata da ogni passeggero è stato causato dalla crescita della domanda di spostamento e da cambiamenti sociali e scelte dei consumatori. Negli Stati Uniti, nel 1950 il consumo di energia per chilometro per passeggero era di 2 megajoule. Oggi è di 2,2, nonostante i motori siano molto più efficienti, e tendenze simili sono state osservate in altri paesi industrializzati (*si veda il box a p. 92*). Una spiegazione importante è la diminuzione del numero di persone che usano la stessa auto. Negli Stati Uniti, il numero medio di persone che condividono un veicolo leggero è sceso da 2,2 nel 1969 a 1,6 nel 2001, provocando un aumento di quasi il 40 per cento nel consumo di energia per chilometri percorsi pro capite dei veicoli leggeri. Questo andamento ha probabilmente raggiunto il massimo livello possibile nei paesi industrializzati, ma è solo agli inizi in molti paesi in via di sviluppo.

Un altro fattore importante per l'aumento dell'intensità energetica del trasporto individuale è stato il bisogno di maggiore sicurezza, comodità e potenza da parte dei consumatori. Rispetto al Modello T di Henry Ford, le automobili in vendita negli Stati Uniti nel 2005 erano mediamente tre volte più pesanti e dieci volte più potenti. Nello stesso periodo, però, il consumo di carburante è sceso da 15 a 10 litri per 100 chilometri. Infatti, la diminuzione del consumo di carburante per chilometro e per tonnellata di peso del veicolo (un indicatore che tiene conto dell'aumento di peso dei veicoli associato a livelli più elevati di sicurezza e comodità) è dell'80 per cento.

Le compagnie aeree hanno sempre inseguito l'efficienza energetica, perché spesso le spese per il carburante sono la voce più importante dei costi operativi. Per non perdere profitti, le compagnie hanno aumentato il tasso di riempimento degli aerei. Di conseguenza

Cortesia «American Scientist»

Un progresso privo di risparmi

Nonostante i continui progressi della tecnologia, in gran parte del mondo industrializzato la quantità di energia per passeggero per chilometro percorso non è diminuita (*a sinistra*), anche perché i consumatori preferiscono dimensioni, peso e potenza maggiori nelle nuove auto. Per la Germania si registra un brusco calo dopo il 1990, quando Germania Ovest e Germania Est, più povera, si sono riunificate. Nel grafico a destra, con dati per i soli Stati Uniti, il tasso di diminuzione del consumo di energia per passeggero per chilometro negli aerei è maggiore rispetto a quello delle auto, un'evoluzione osservata in tutto il mondo.

il consumo di energia per chilometro per passeggero, dopo la transizione al motore a reazione, è notevolmente diminuito. Anche nei viaggi aerei, però, comodità, convenienza e velocità hanno ostacolato ulteriori riduzioni del consumo di energia. L'aumento dello spazio dedicato alla *business class* e alla prima classe, per esempio, riduce la densità di passeggeri. Anche la tendenza verso voli più frequenti con aerei molto leggeri incide, moltiplicando i decolli ad alto dispendio di energia e riducendo le economie di scala.

Come per la mobilità, la principale causa della tendenza verso una maggiore comodità è stata la capacità tecnologica di abbassare i costi. Anche strategie di prezzo molto aggressive e nuovi modelli di business, sviluppati per conquistare fette di mercato, hanno accelerato la riduzione dei costi. La combinazione tra bassi costi e aumento dei redditi ha reso più accessibili sicurezza, comodità e velocità. Nel 1967 la famiglia statunitense media doveva lavorare 21 settimane per permettersi una nuova automobile. Oggi bastano 17 settimane, nonostante il considerevole miglioramento dei veicoli.

Senza dubbio l'aumento del consumo di energia per chilometri per passeggero aumenta le emissioni. Se l'uso di energia per chilometro percorso per passeggero di veicoli aerei e stradali prodotti nel 2005 rimanesse costante fino al 2050 – e i derivati del petrolio fossero ancora il carburante principale – il consumo di energia per chilometri per passeggero aumenterebbe tra il 12 e il 25 per cento a livello globale. Il costo energetico aumenterebbe da circa 1,4 a 1,6-1,8 megajoule per chilometro per passeggero. L'entità dell'aumento dipende dalla crescita economica e dalla sua distribuzione nel mondo. In questo scenario, che chiamiamo «a tecnologia costante», le emissioni di gas serra dovute ai trasporti dovrebbero aumentare da tre a cinque volte entro la metà del secolo.

Tecnologia e nuovi carburanti in soccorso

Per fortuna le tecnologie emergenti e i carburanti alternativi possono ridurre le emissioni in modo significativo. Ma occorre essere realistici sulla possibilità di raggiungere gli obiettivi. A volte soluzioni apparentemente banali non sono praticabili senza superare ostacoli che emergono quando si applicano tecnologie ad alta efficienza energetica. Per esempio si potrebbe pensare che l'efficienza dei motori delle auto aumenti in maniera significativa con l'aumentare della quantità di aria per unità di combustibile bruciato. Ma i motori a combustione povera avrebbero un effetto indesiderato. I catalizzatori a tre vie dei motori non possono ridurre le emissioni di ossido di azoto in ambiente ricco di ossigeno. Nei motori degli aerei, temperature di combustione più elevate aumenterebbero l'efficienza del motore, ma anche le emissioni di ossido di azoto.

Un altro fattore determinante è il tempo. Lo sviluppo di nuovi veicoli stradali e aerei può richiedere decenni. Un esempio estremo è l'auto elettrica ibrida, progettata per la prima volta da Ferdinand Porsche oltre novant'anni prima della commercializzazione dei moderni modelli ibridi. Anche le cosiddette transizioni rapide nei trasporti non sempre sono tanto veloci. Sono trascorsi vent'anni tra il primo progetto concreto di un motore a turbogas e l'entrata in funzione nel 1952 della linea commerciale con il de Havilland Comet, il primo jet del mondo. Una delle ragioni sono gli ingenti investimenti, che comportano notevoli rischi ma spesso sono necessari per lo sviluppo di nuove tecnologie di trasporto.

Nonostante le difficoltà, la nostra analisi dimostra l'esistenza di un significativo potenziale di riduzione del consumo di carburante sia nel trasporto su strada sia in quello aereo nei prossimi vent'anni. Se solo si potesse limitare la preferenza da parte dei consumatori per automobili sempre più grandi e potenti, negli Stati Uniti ci sarebbe una riduzione di circa il 30 per cento del consumo di carburante delle auto vendute a metà degli anni 2020 rispetto alle auto vendute nei primi anni 2000. Questi miglioramenti renderebbero necessari veicoli dotati di motori con prestazioni più elevate, una maggiore percentuale di acciaio ad alta resistenza, una maggiore quantità di alluminio e materie plastiche per ridurre il peso, pneumatici con minore attrito e carrozzerie con minore resistenza aerodinamica. Inoltre, persino veicoli ibridi da strada più evoluti

e leggeri non riuscirebbero ad abbattere il consumo di carburante del 50 per cento (che corrisponde al raddoppio, o a un aumento del 100 per cento, dell'efficienza del combustibile).

Anche un uso più ampio di carburanti alternativi ridurrebbe le emissioni. Ma è difficile trovare sostituti soddisfacenti dei derivati del petrolio. Garantire la compatibilità con l'infrastruttura attuale potrebbe rivelarsi un ostacolo arduo. La crescita di etanolo derivato dal mais e del biodiesel prodotto dall'olio vegetale si spiega in parte con la loro facilità di miscela con i derivati del petrolio. Ma lo sviluppo di questi prodotti è stato determinato più dall'inquietudine per le fluttuazioni del prezzo del petrolio e dai rischi per la sicurezza energetica che dalle preoccupazioni per le emissioni. Rispetto ai prodotti petroliferi, quasi tutte le miscele di biocombustibile producono una riduzione delle emissioni pari a pochi punti percentuali in tutto il ciclo di vita del carburante. I combustibili derivati da fonti non petrolifere – carbone, gas naturale o scisti bituminosi – nell'intero ciclo di vita possono emettere addirittura più gas serra del petrolio, a meno che l'anidride carbonica emessa durante la produzione non sia catturata e immagazzinata.

Alessandra Tarantino/AP Photo/La Presse (*treno*); Umberto Faraglia/AP Photo/La Presse (*aerei*)

Si può sperare che la prossima generazione di biocombustibili, derivati da cellulosa invece che da scorte alimentari, emetterà significativamente meno CO_2 in tutto il ciclo di vita. Questi biocombustibili dovrebbero anche aumentare la produzione di carburante per ettaro. La scienza non ha ancora individuato strumenti affidabili per scomporre la cellulosa in zuccheri fermentabili, ma sono stati fatti progressi. Una tecnologia promettente nel trasporto su strada è il veicolo elettrico a batterie avanzate, forse in modalità ibrida, con un motore a combustione interna per le lunghe distanze alimentato con etanolo da cellulosa. Anche i tentativi di sviluppare prodotti petroliferi sintetici fanno ben sperare. Difficilmente invece l'idrogeno conquisterà quote di mercato rilevanti prima del 2050, a causa della mancanza di infrastrutture per la produzione, la distribuzione, lo stoccaggio e il rifornimento di idrogeno e degli alti costi dei veicoli a cella a combustibile.

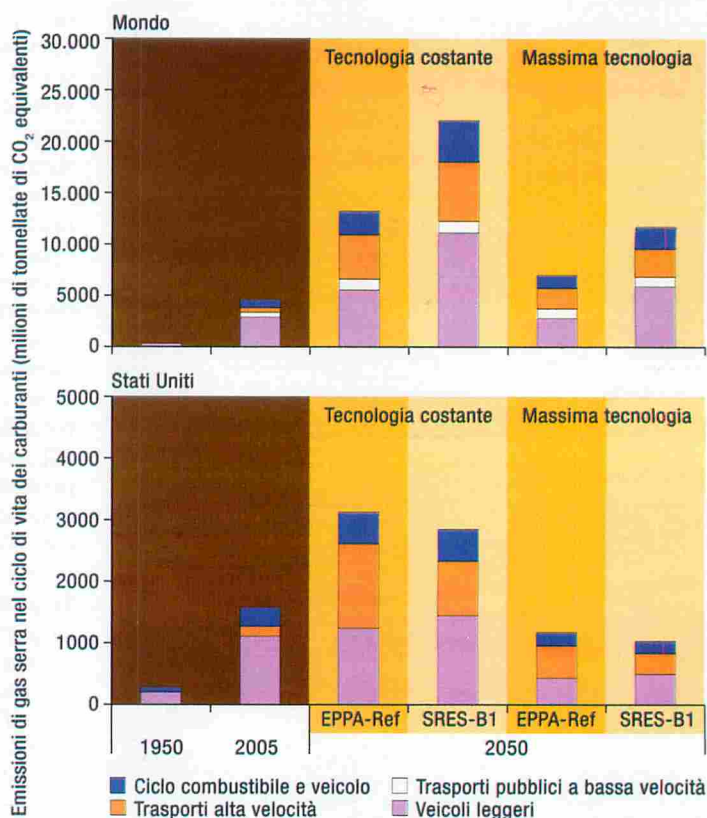
Se nelle nostre proiezioni sul trasporto globale consideriamo la massima innovazione tecnologica, prevediamo che nel 2050 il consumo automobilistico medio mondiale per chilometro pro capite possa diminuire del 35 per cento rispetto al 2005 (*si veda il box a p. 94*). Questo notevole guadagno rappresenta una riduzione del 50 per cento nel mondo industrializzato e del 30 nelle economie in via di sviluppo, in cui i vincoli di capitale e infrastrutture impediranno certi cambiamenti. Prevediamo anche una riduzione del 40 per cento nel trasporto aereo, rispetto allo scenario a tecnologia costante. Se queste riduzioni verranno affiancate da biocarburanti di seconda generazione che alimenteranno, nelle proiezioni più aggressive, il 20 per cento del trasporto globale di passeggeri entro il 2050, il livello delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita provenienti dal traffico passeggeri potrebbe diminuire notevolmente entro la metà del secolo. Questo scenario potrebbe aumentare le emissioni solo dal 40 al 140 per cento rispetto ai livelli del 2005, nonostante l'enorme crescita imminente della domanda di mobilità. Nel mondo industrializzato, le emissioni del ciclo di vita dei gas serra derivate dal trasporto passeggeri nel 2050 potrebbero scendere sotto i livelli del 2005, perché la crescita della domanda sarà inferiore e l'adozione delle tecnologie emergenti più rapida.

La diffusione dei miglioramenti tecnologici nel parco veicoli mondiale sarà determinata dai costi. Il modello medio di automobile venduta negli Stati Uniti nel 2000 consumava 9,8 litri di benzina per 100 chilometri. Ridurre del 30 per cento il consumo dei veicoli comporterà un aumento del prezzo dell'automobile di 1500 dollari. E visto che ulteriori riduzioni dei consumi richiederanno tecnologie ancora più sofisticate, una riduzione del 50 per cento aumenterà il prezzo di 5000 dollari. Di conseguenza, il prezzo medio di 20.000 dollari di una nuova automobile negli Stati Uniti potrebbe aumentare tra l'8 e il 25 per cento. Grazie a prezzi dei carburanti relativamente bassi, fino a oggi i consumatori statunitensi hanno dimostrato maggiore interesse per comodità e potenza rispetto all'efficienza energetica dei veicoli. Prezzi dei carburanti così bassi hanno anche vincolato la ricerca e lo sviluppo di alternative ai combustibili liquidi, come i biocarburanti di seconda generazione. Sono due delle ragioni per cui introdurre tecnologie e carburanti del genere su larga scala richiederà cambiamenti nelle politiche pubbliche.

Scelte politiche complicate

I governi hanno a disposizione una serie di strumenti con cui attuare politiche per espandere l'uso di tecnologie che fanno risparmiare energia e di carburanti a basso contenuto di carbonio. L'obiettivo è indurre i consumatori a cambiare preferenze favorendo il basso consumo rispetto a dimensioni, comodità, potenza

Ridurre le emissioni è possibile

Nei due grafici sono rappresentate le emissioni di gas serra dovute alla mobilità nel 1950 e nel 2005 nel mondo (*in alto*) e negli Stati Uniti (*in basso*). Le proiezioni al 2050 sono basate su due diversi scenari di crescita economica. EPPA-Ref rappresenta la crescita del PIL pro capite prevista dal modello di Emission Prediction and Policy Analysis del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Lo scenario SRES-B1 è dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e prevede una crescita superiore del PIL medio pro capite rispetto al MIT. Gli aumenti di emissioni di gas serra dovute al trasporto sono molto più grandi in entrambi gli scenari quando la tecnologia dei trasporti non cambia. Ma se si adottano misure drastiche per abbassare il consumo di carburante, le emissioni calano.

e altre caratteristiche. Nuove politiche indurranno le industrie aeronautiche e automobilistiche a introdurre tecnologie di risparmio energetico a un ritmo più rapido e a una scala più grande rispetto a quanto avrebbero fatto altrimenti. I vantaggi potenziali sono rilevanti, come indicato dai diversi livelli di emissioni negli scenari a tecnologia costante e tecnologia massima descritti in precedenza.

Regolamentazioni o misure basate sul mercato, o entrambe, possono modificare le scelte di consumatori e industrie. Nella storia, quasi tutte le legislazioni ambientali sono state fondate su misure regolatorie, anche perché le regolamentazioni tendono a nascondere i costi addizionali delle tecnologie di risparmio energetico, e dunque incontrano scarsa resistenza nell'opinione pubblica. Ma dato che occorrono diversi anni perché l'industria progetti veicoli conformi ai nuovi standard, e molti anni in più perché veicoli più efficienti siano venduti in numeri abbastanza grandi, possono trascorrere diversi decenni prima di percepire l'impatto di una nuova legislazione. Inoltre, l'esperienza statunitense successiva all'approvazione della legislazione sull'efficienza energetica (Corporate Average Fuel Economy Standards) suggerisce che se gli automobilisti percepiscono la riduzione del costo marginale di veicoli a basso consumo viaggiano di più. Un effetto, noto come effetto rimbalzo, che potrebbe frenare la riduzione del consumo di energia.

Non molto tempo fa diversi governi hanno adottato misure di mercato che influenzano, attraverso i prezzi, il comportamento di consumatori e aziende. Questo insieme di misure è più efficiente rispetto alle regolamentazioni perché può imporre la stessa penalizzazione a tutti gli emettitori di gas serra: veicoli, centrali a carbone o altre fonti. Va notato che un sovrapprezzo nell'ambito dei trasporti che aumenti il costo del carburante riduce il consumo di energia e le emissioni del parco auto esistente, e non solo per i nuovi veicoli. L'imposizione di costi marginali uguali per tutte le fonti di emissione sarebbe realizzata più facilmente con una *carbon tax* nazionale o da un sistema basato sui certificati di emissione. Sul lungo periodo, sia un approccio fondato sul prezzo sia uno basato sulla regolamentazione sono in grado di raggiungere un livello desiderato di emissioni, sebbene la rapidità con cui ciascun approccio modifica il mercato sia diversa.

Si devono anche considerare le difficoltà legate al probabile impatto di un approccio basato sul mercato. Con l'aumento globale del reddito e il crescente uso di automobili e trasporti ad alta velocità descritti prima, la già limitata risposta dei consumatori agli aumenti di prezzo del carburante e ad altri incentivi di mercato sarà probabilmente ancora più debole. La mancanza di alternative ai carburanti derivati dal petrolio non aiuta. Quindi una strategia che imponga penalizzazioni legate alle emissioni in modo uniforme in tutti i settori economici produrrà una minore riduzione percentuale nelle emissioni dovute ai trasporti rispetto ad altri settori. Tutto questo fa dubitare che il settore del trasporto si assumerebbe una parte equa dell'onere complessivo, nell'approccio basato su costi uniformi. Quindi i governi devono decidere se trattare il trasporto di passeggeri separatamente e imporre penalità diverse – e probabilmente più dure – rispetto ad altri settori.

Analogamente, ci si chiede se sia appropriato porre l'accento su un'unica strategia – penalizzazione del prezzo per le emissioni di CO_2 oppure regolamentazioni, come gli standard sui fumi di scarico, per esempio – o applicare una pluralità di provvedimenti. L'obiettivo non sarà raggiunto né da una strategia basata solo sul mercato né da una strategia basata solo su regolamentazioni. Una delle ragioni è che entrambi gli approcci sono già in atto. Negli Stati Uniti ci sono tasse sul carburante, limiti sul consumo e norme sulla sicurezza, spese in ricerca e sviluppo e sovvenzioni per veicoli a biocombustibile e ibridi. Inoltre, nessuna strategia funziona bene in tutti gli stadi del ciclo di vita di una tecnologia, dalla progettazione all'impiego. In effetti, sarebbero necessarie politiche mirate a compensare gli effetti indesiderati di alcuni interventi. Per esempio regolamentazioni che intendano aumentare l'efficienza solo delle nuove automobili potrebbero provocare un effetto di rimbalzo, se non accompagnate da un aumento delle tasse sul carburante.

Queste complessità potrebbero essere affrontate da un'aggressiva strategia di riduzione delle emissioni. Un esempio potrebbe essere una carbon tax globale pensata per stabilizzare la concentrazione atmosferica dei gas serra a 550 parti per milione. Molti osservatori ritengono insicuro questo livello, eppure è un obiettivo difficile da raggiungere. In questo scenario la nostra analisi degli Stati Uniti prevede che nel 2050 le emissioni dovute al trasporto di passeggeri diminuiscano nettamente, tornando quasi al livello del 2005. Questo livello sarebbe notevolmente inferiore a quanto prevede lo scenario «a tecnologia costante», ma molto al di sopra dello scenario «di massima tecnologia». Allo stesso tempo, l'impatto di questo approccio sull'efficienza energetica della tecnologia dei trasporti e sulla riduzione della domanda di mobilità sarebbe relativamente limitato. Infatti, raggiungere quel livello di emissioni non richiede cambiamenti radicali, come un maggiore uso di veicoli ibridi elettrici rispetto alla trazione tradizionale.

In alternativa, il trasporto passeggeri potrebbe essere considerato una categoria speciale, con propri obiettivi di riduzione delle emissioni. Uno dei motivi per favorire questo approccio è che i controlli sono politicamente più accettabili nel trasporto passeggeri rispetto ad altri settori, come la produzione di energia. Inoltre si sostiene che l'insieme dei vantaggi risultanti potrebbe avere un valore superiore ai costi addizionali. L'ultimo argomento emerge quando si perseguono contemporaneamente diverse strategie, come la riduzione delle emissioni e la riduzione della dipendenza petrolifera di uno Stato dall'estero.

Qualunque sia la strategia adottata dal governo, i progressi tecnologici devono essere incentivati dal sostegno della ricerca e dello sviluppo. Gli obiettivi sono il miglioramento dei sistemi di propulsione e di stoccaggio dell'energia e la riduzione della resistenza al moto nei veicoli stradali con ulteriori riduzioni di peso e di dimensioni. È anche giunto il momento di introdurre modifiche radicali nella progettazione aeronautica, come aerei che integrano motori, ali e fusoliera in un'unica superficie portante (*blended wing-body).* Date le incertezze sulle soluzioni migliori, gli investimenti dovrebbero rivolgersi a un ampio spettro di opzioni promettenti. La ricerca sulla tecnologia delle batterie è cruciale, ma occorre sostenere anche tecnologie concorrenti, come la produzione e lo stoccaggio di idrogeno. Dato che i prodotti sintetici derivati dalle biomasse possono essere usati rapidamente in automobili e aerei, gli investimenti in ricerca e sviluppo di questi carburanti potrebbero rivelarsi particolarmente redditizi.

Modificare veicoli e carburanti, e comportamento di consumatori e imprese del settore dei trasporti, può ridurre le emissioni. Ma ci vorrà tempo, forse decenni. Quindi i tentativi di ridurre le emissioni legate alla mobilità, un aspetto particolare del tentativo più generale di controllare tutte le emissioni, devono avere una priorità elevata adesso. Altrimenti il passato riprodurrà se stesso. La domanda di trasporto a motore crescerà con la popolazione e il reddito globali. E le emissioni cresceranno a livelli tali che, da sole, le emissioni dovute ai trasporti ci impediranno di raggiungere l'obiettivo più ambizioso di limitare la concentrazione atmosferica di gas serra. Non ci sarà soluzione alla minaccia climatica senza cambiamenti nei trasporti. E non ci saranno cambiamenti nei trasporti senza politiche governative coerenti che li esigano. ■

Stefano Porcile/AP Photo/La Presse

LETTURE

Historical and Future Trends in Aircraft Performance, Cost, and Emission. Lee J.J., Lukachko S.P., Waitz I.A. e Schäfer A., in «Annual Review of Energy and the Environment», Vol. 26, pp. 167-200, 2001.

Transportation in a Climate-Constrained World. Schäfer A., Heywood J.B., Jacoby H.D. e Waitz I.A., MIT Press, 2009.

Future Fuel Cell and Internal Combustion Engine Automobile Technologies: A 25-Year Life-Cycle and Fleet Impact Assessment. Schäfer A., Heywood J.B. e Weiss M.A., in «Energy.The International Journal», Vol. 31, pp. 1728-1751, 2006.

Technology Detail in a Multi-Sector CGE Model: Transport under Climate Policy. Schäfer A. e Jacoby H.D., in «Energy Economics», Vol. 27, pp. 1-24, 2005.

The Future Mobility of the World Population. Schäfer A. e Victor D.G., in «Transportation Research A», Vol. 34, pp. 171-205, 2000.

L'originale di questo articolo è stato pubblicato su «American Scientist», Vol. 97, novembre-dicembre 2009.

Cervelli in amore

Le frecce di Cupido, trattate con neurotrasmettiori, lasciano il segno

Grafica di James W. Lewis, West Virginia University (*cervello*) e Jen Christiansen

Uomini e donne possono ringraziare una dozzina di regioni del cervello per il loro fervore romantico. Un gruppo di ricerca è riuscito a identificare le fonti del desiderio confrontando diversi studi di altri gruppi effettuati con la tecnica della risonanza magnetica funzionale (fMRI) – che visualizza l'attività del cervello – su soggetti innamorati in modo passionale, materno oppure incondizionato. Insieme, tutte queste regioni rilasciano neurotrasmettitori e altre molecole nel cervello e nel sangue che alimentano sensazioni euforiche più intense come attrazione e piacere. E forse un giorno gli psichiatri potranno aiutare persone pericolosamente depresse in seguito a una delusione amorosa, in altre parole «cuori infranti», regolando queste molecole su valori corretti.

La passione aumenta inoltre diverse funzioni cognitive, sempre grazie all'aumento repentino dell'attività cerebrale e della concentrazione di specifiche molecole. «È tutta una questione del modo in cui interagisce la rete», afferma Stephanie Ortigue, docente di psicologia alla Syracuse University, che ha diretto il confronto tra studi. A loro volta, le funzioni cognitive «attivano la rete dell'amore». Ditelo all'oggetto dei vostri desideri...

Mark Fischetti

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

La delizia degli idioti

L'ennesimo argomento di discussione accesa tra Rudy e Piotr da una parte e Alice dall'altra è un solitario per due. Basterà un po' di probabilità a riportare la calma?

«Certo che, a vedervi così assorti e concentrati, si capisce subito perché gli inglesi chiamano i solitari con le carte *Idiot's Delight*. Due menti eccelse come le vostre perse su fiori, quadri, cuori e picche, impegnate a esaminare quello che, a prima vista, sembra essere un solitario fatto in coppia: non è tanto l'ossimoro che tutto questo implica, quanto l'espressione superbamente intelligente che alberga sui vostri volti, a preoccuparmi».

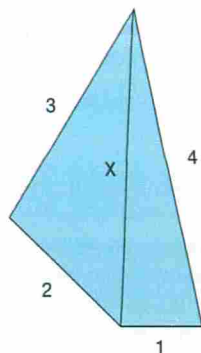
La pipa di Rudy si volta con aria bellicosa verso la treccia di Alice che ha appena varcato la soglia.

«Miss Riddle, da lei non mi aspettavo un così pedissequo commento. Mi pregio farle notare che i "solitari a due" esistono davvero, alla faccia degli ossimori e dei loro estimatori. Sono stati splendidamente analizzati e codificati nell'immortale libro di Giampaolo Dossena intitolato *Solitari con le carte e altri solitari. Per giocare da soli o ben accompagnati*, in cui per i derivati dal Solitario di Napoleone viene perfino sviluppata una specifica notazione descrittiva, e ci si dilunga nelle spiegazioni su come giocarli in coppia».

L'uso formale della terza persona singolare riservato da Rudy ad Alice è un pericoloso campanello d'allarme per la serenità domestica, e Piotr prova subito ad attuare una diversione dialettica.

«A proposito, sapete che il celebre solitario che prende il suo nome non fu mai giocato da Napoleone? L'imperatore era così tignoso che odiava perdere anche contro se stesso, e quel solitario non garantiva sufficienti probabilità di vittoria. Resta insomma un mistero l'origine del nome, e...».

Illustrazione di Stefano Fabbri

IL PROBLEMA DI GENNAIO

Nei cento passaggi che si susseguono prima di vedere la luce, i problemi che pubblichiamo talvolta subiscono degli infortuni: così il mese scorso le misure che sono state pubblicate (10, 20, 40, 40) erano sbagliate. Le misure che volevamo proporre erano 10, 20, 30 e 40. Beh, poco male, direte voi: basta ricalcolare tutto e... e invece no. Noi siamo estremamente pigri, e avevamo già pronta la soluzione per 10, 20, 30 e 40, e questa pubblichiamo: anche perché così, sul blog, potrete sfogarvi per bene con proteste e soluzioni alternative. Comunque, si parlava di come costruire la teglia quadrangolare di area massima con quattro bordi di misura 1, 2, 3 e 4 decimetri. Senza perdere di generalità possiamo connettere i nostri bordi come indicato in figura, tracciare la diagonale x e considerare i due triangoli di lati $(3, 2, x)$ e $(4, 1, x)$. Richiamiamo la Formula di Erone per entrambi i triangoli (S = area; a,b,c = lati; p = semiperimetro):

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

Quindi, nei nostri casi:

$$S^2_{(30,20,x)} = \frac{(25-x^2)(x^2-1)}{16};$$

$$S^2_{(10,x,40)} = \frac{(25-x^2)(x^2-9)}{16}.$$

Una volta imposto il cambio di variabile $u=x^2$, possiamo derivare l'espressione dell'area totale rispetto a u e cercare il massimo della funzione. Il risultato ci darà un'area di $2\sqrt{6}$ decimetri quadri, insomma circa 490 centimetri quadri: sempre troppo poco per le mascelle di Doc. Poi, volendo, ci sarebbe Brahmagupta...

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di marzo e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it.
Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

«Basta, basta, altrimenti qui finisce con una dissertazione sul Sole di Austerlitz e sulla manovra di accerchiamento di Ulm – interrompe la miss – e poi conosco il Dossena, e di conseguenza conosco anche i solitari a due. La mia era solo una battuta per risvegliare l'aleggiante mortorio: del resto, che fossi ironica si poteva chiarissimamente capire dacché ho definito "menti eccelse" i vostri due miseri encefali. Il mio, per contro, è sufficientemente attivo da prevedere, subito dopo un rudesco e solingo soliloquio sui solitari, che saremmo arrivati "per caso" all'esposizione di uno stramaledetto problema imparentato in qualche modo con le carte. Rudy, se mi risparmi il soliloquio solingo ti concedo di passare subito al problema. Ci stai?».

La vibrazione del fornello e frequenti sbuffi di fumo che salgono dalla pipa palesano che l'offerta è allettante, e soppesata con attenzione. Per la gioia di due presenti su tre, il Capo sembra cedere alla trattativa.

«Presto detto: sto dimostrando a Doc che hai ragione».

Le sopracciglia di Piotr si alzano di un centimetro, le spalle di Alice si abbassano di un decimetro. «La cosa puzza, Rudy – dice infine la fanciulla – e non perché sia strano che io abbia ragione: ce l'ho quasi sempre. Ma che tu lo ammetta così, ah... Questo proprio è duro da mandar giù. Sentiamo, maledetto imbroglione: in quale dei molti campi dello scibile da me dottamente dominati avrei ragione, questa volta?».

«Teoria delle probabilità».

Gli occhi di Alice si spalancano come quelli di un ministro delle Pari Opportunità, la sua voce diventa roca e cupa come quella di un ministro per le Riforme.

«Ah no, maledetto! Certo, ti sapevo perfido, ma fino a questo punto... Ti aspetti ovviamente che ceda alla curiosità di chiederti "in che cosa ho ragione" di modo che tu possa propinarmi un fetentissimo problema di probabilità. Non è vero? Beh, allora hai proprio sbagliato i conti! Non ci casco, non ti chiedo niente di niente. È chiaro? Tanto lo so che è solo un sotterfugio. Giusto Doc?».

«Beh, Treccia, mi sa che una volta tanto Rudy ha detto la verità... sto vincendo una partita dietro l'altra, e solo perché, appunto, sto mettendo in pratica i suoi consigli, scegliendo la parte della scommessa che lui mi suggeriva. A naso, io avrei certamente scelto di scommettere sul contrario, ma il mio naso e il senso comune, come ben sai, sbattono spesso contro il duro muro della teoria delle probabilità. E siccome questo è quello che dici sempre tu, ne consegue che hai ragione».

«Voi due siete un'associazione a delinquere. Vi siete messi d'accordo, eh? Facciamola corta, dannazione, allora. Spiegatemi il gioco, via...».

«Oh, niente di più facile da spiegare e da giocare – riprende Rudy, trattenendo a malapena un sorrisetto di soddisfazione – ciascuno di noi ha un mazzo di carte da 52, entrambi accuratamente mescolati; dopodiché, ognuno di noi rovescia, contemporaneamente all'altro, una carta sul tavolo. Si va avanti così sino alla fine del mazzo».

«Gli inglesi sono davvero molto generosi, a chiamarli *Idiot's Delight*. A invece me vengono in mente solo definizioni meno pietose. E c'è qualcuno che vince questa sfida ad altissimo livello di adrenalina?».

«Certo: se durante tutto lo svolgimento del gioco non escono mai contemporaneamente due carte uguali sia in seme sia in valore vince chi ha puntato su "*no-match*"; se invece, almeno una volta, escono due carte uguali, vince l'altro, che avrà chiaramente puntato su "*match*". Ovviamente, visto che Doc mi sta stracciando, devi solo dirci su quale evento ha puntato lui; e possibilmente quali sono le probabilità teoriche di vittoria per ciascuno dei due casi...».

Treccia sospira. «Match e no-match, eh? Come no... Adesso dovrei prendere carta e penna, riempire un foglio di P latine e Sigma maiuscole, secondo te, vero?».

«Beh...».

«Beh, ti sbagli! Alla televisione trasmettono un match di pugilato: campionato del mondo dei pesi welter WBA. Guarda caso, proprio la nostra categoria, Grande Capo; ti consiglio di guardare quel match, così quando l'arbitro conterà fino a dieci quello che finisce al tappeto, avrai una buona anticipazione di quello che sto per farti».

La scienza che ha unito l'Italia

Ingegni Minuti
di Lucio Russo e Emanuela Santoni
Feltrinelli, Milano, 2010, pp. 510 (euro 30,00)

L'Italia compie un secolo e mezzo, ma esiste da molto più tempo. Non come unità politica autonoma, ma piuttosto come comunità di circolazione e produzione di saperi. È quindi giustificata la pretesa di scrivere «una storia della scienza in Italia», anche se è un compito da far tremare i polsi: coprire due millenni di sviluppo scientifico e tecnologico in ogni disciplina, dalla «A» di anatomia alla «Z» di zoologia. Il volume in realtà copre soprattutto i secoli dal XII al XX, approssimativamente dalla fine del Medioevo fino agli anni settanta: pochissimo spazio è dedicato alla scienza nell'antichità, considerata soprattutto di derivazione ellenistica (anche se forse le conoscenze elaborate in età romana avrebbero meritato più attenzione). Questa scelta porta il lettore all'alba della rivoluzione scientifica, nel periodo in cui prende forma una rete di circolazione di persone, idee e tecnologie a livello europeo, in cui tuttavia l'Italia ha un posto principale. Nascono le università e le scuole mediche, e la penisola è percorsa da studenti e studiosi provenienti di tutta Europa che si accalcano nelle lezioni di anatomia tenute a Bologna e a Padova, o imparano la medicina e la farmacia a Salerno, trasferendo poi le conoscenze acquisite nel continente.

In Italia avviene anche buona parte dello sviluppo delle tecniche di navigazione e cartografia, inventate o importate da altri paesi (come la bussola cinese). Viene evidenziata, nella seconda e terza sezione del libro, l'importanza della cultura materiale, legata sia alle tecniche fondamentali per la creazione di questa rete scientifica (per esempio, la stampa e la possibilità di incidere e riprodurre accuratamente le tavole di ciò che il naturalista descrive nel testo), sia al sapere pratico elaborato in ambiti diversi dalle accademie. Per esempio, nelle botteghe degli artisti e degli artigiani, dove si sviluppano *know how* innovativi anche senza studio sperimentale e sistematico, ma capaci di attrarre l'interesse di chi perseguiva l'indagine della natura a soli scopi conoscitivi.

La sfilata dei nomi più celebri – Galilei, Malpighi, Torricelli, Borelli – occupa il capitolo dedicato allo sviluppo della scienza moderna, basata su strumenti e metodi quantitativi, nonché sul nuovo metodo sperimentale che vede gli studiosi italiani in prima linea. È l'ultimo periodo in cui la scienza al di qua delle Alpi ha avuto centralità nell'avanzare della scienza: a livello europeo, lo sviluppo di stati nazionali forti e quindi in grado e desiderosi di imporre politiche di progresso scientifico, nonché la perdita di importanza del Mediterraneo, spostano gli equilibri. L'Italia diventa periferia, nonostante importanti ingegni capaci di emergere a livello internazionale. Nella penisola post-rinascimentale si ricevono quindi le innovazioni prodotte altrove, producendo talenti che però non trovano un ambiente favorevole per la piena fioritura. Da allora, periodicamente, la scienza in Italia ha alternato periodi di progresso a crisi strutturali, con il risultato di non riuscire mai a colmare la distanza con le altre nazioni economicamente sviluppate. L'ultima crisi che viene individuata dagli autori – Lucio Russo, storico della scienza e professore all'Università di Roma-Tor Vergata, ed Emanuela Santoni, collaboratrice dello stesso ateneo e professoressa di matematica e fisica in un Liceo romano, con all'attivo diverse pubblicazioni di storia e didattica della scienza – è uno dei nodi più importanti indagati dalla recente storiografia della scienza in Italia: è il collasso che avviene all'inizio degli anni settanta, dopo un ventennio di faticosa risalita che aveva portato importanti risultati, nonostante una classe dirigente in gran parte indifferente – quando non ostile – a un investimento costante e sostenuto nella ricerca.

Negli ultimi trent'anni, spiegano gli autori in modo piuttosto convincente (per quanto stringato), ha prevalso una strategia di disimpegno dalle produzioni industriali ad alta tecnologia. Parallelamente, la ricerca pubblica ha sofferto il disinteresse della politica e dell'industria, trovando pochi stimoli alla crescita nonostante gli sforzi isolati di alcuni manager scientifici. Gli autori non offrono soluzioni immediate, né la storia che narrano lascia spazio all'ottimismo. C'è da sperare che la lettura di questo saggio, pur con tutti i suoi limiti, possa indurre a una riflessione sul futuro della ricerca nel nostro paese.

Mauro Capocci

Il piccolissimo mondo di un grande acceleratore

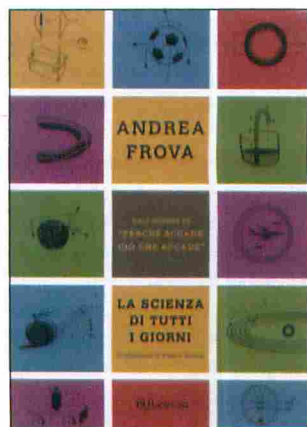
Odissea nello zeptospazio
di Gian Francesco Giudice
Springer, Milano, 2010,
pp. 328 (euro 29,00)

La scoperta del bosone di Higgs come l'Itaca di Ulisse, termine del lungo peregrinare a bordo di LHC nel mondo subatomico? Giudice preferisce pensare all'Ulisse di Dante che dopo il ritorno a Itaca riparte per varcare le colonne d'Ercole, penetrando nel regno dell'ignoto. La mediatica «particella di Dio» non è che uno dei tanti segreti che il grande acceleratore del CERN ci potrebbe permettere di carpire al cuore della materia, nel regno dello zeptospazio (dove le cose misurano un miliardesimo di miliardesimo di millimetro).

Il viaggio dentro il grande anello di 27 chilometri guidati dalla penna leggera di Giudice, fisico teorico delle particelle elementari che lavora al CERN dal 1993, è un itinerario ricco di meraviglie. A partire dai 1232 dipoli, i grandi magneti che servono a curvare il fascio di particelle, 30 tonnellate di peso e 700.000 euro ciascuno, giusto il prezzo al chilogrammo del cioccolato svizzero, per farsi un'idea. Per scoprire poi come si fa a mantenere 37.000 tonnellate di materiale a – 271 gradi Celsius, ottenere il vuoto spinto in un volume complessivo di 9000 metri cubi, e com'è stato complicato calare componenti da 2000 tonnellate per l'esperimento CMS dentro un pozzo fino a 1000 metri di profondità. E riuscire infine a sfornare e analizzare l'abnorme quantità di dati di un milione di gigabyte al secondo. Che serviranno a disegnare una mappa sempre più accurata del mondo là sotto, ma anche a farci capire meglio misteri come quello della materia oscura e le dimensioni extra.

Il perché, ricorda Giudice, lo diceva già Pirandello: «La vita è piena d'infinite assurdità, le quali sfacciatamente non han neppur bisogno di parer verosimili; perché sono vere.»

Marco Motta

Fenomenologia del quotidiano, con esperimenti per casa

La scienza di tutti i giorni
di Andrea Frova
Biblioteca Universale Rizzoli (BUR), Milano, 2010, pp. 394 (euro 18,00)

Accanto alla scienza più spettacolare, quella che ha inviato sonde spaziali nelle scie delle comete, che ha permesso di sconfiggere malattie micidiali, che ha permesso di costruire l'acceleratore di particelle del CERN, accanto alla *big science* c'è una scienza di tutti i giorni a cui prestiamo poca attenzione. Eppure è quella che «regola gli eventi del quotidiano, condiziona le nostre attività, guida le nostre scelte, soprintende alla nostra esistenza e alla nostra sopravvivenza», per dirla con Frova.

Attraverso sette capitoli l'autore affronta i temi della luce, del suono, della materia, delle forze che hanno modellato il nostro pianeta, della basi essenziali della vita, delle macchine inventate dall'uomo e delle nostre scoperte sulla struttura dell'universo. Tutto il volume è corredato da immagini e disegni che aiutano a visualizzare, comprendere e approfondire i temi trattati. Dato che si tratta di scienza di tutti i giorni, non potevano mancare le schede per fare «in casa» piccoli esperimenti, secondo un principio sempre più caro alla divulgazione scientifica per cui mettere le mani in pasta è più efficace che non assistere passivamente a innumerevoli spiegazioni.

Lo scopo dell'autore non è, però, quello di fornire un corredo di risposte esaurienti a chi desidera capire cosa si cela dietro una serie di fenomeni, quanto piuttosto spingere i lettori a porsi domande e cercare le risposte autonomamente, assecondando una frase di Enrico Fermi citata in apertura: «Prima di venire qui, sul soggetto avevo le idee confuse. Dopo aver sentito le sue spiegazioni rimango ancora confuso, ma a un livello più alto».

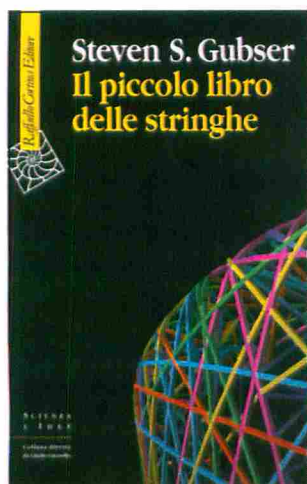
Marco Boscolo

La scommessa di Scienza Express

Due libri in uscita a febbraio segnano il debutto di una nuova casa editrice italiana: Scienza Express. Il primo è *Manuale di sopravvivenza energetica* del giornalista

scientifico *freelance* Andrea Mameli, un manuale pratico per salvare ambiente e portafogli. Il secondo volume, firmato da Roberto Zanasi, professore di matematica delle scuole superiori, è *Verso l'infinito ma con calma*, e tenta di rispondere alle domande: che cos'è l'infinito, e quanti tipi di infinito esistono?

Prezzi bassi, linguaggio semplice e rigoroso, grande uso dell'informatica (dai libri elettronici a Facebook) per creare una comunità tra lettori e autori che favorisca il dibattito, lo sviluppo di idee e l'accessibilità al sapere: questi, in estrema sintesi, i tre pilastri sui cui scommette Scienza Express, nata dalla collaborazione tra Daniele Gouthier e Luciano Celi.

Per il 2011 sono previste undici pubblicazioni; tutte le informazioni sul sito www.scienzaexpress.it (*cb*)

Il piccolo libro delle stringhe
Steven S. Gubser
Raffaello Cortina Editore, Milano, 2010
pp. 182 (euro 18,50).

Ritratto di una teoria senza conferme sperimentali

Esiste una teoria del tutto? È possibile formulare un modello fisico che descriva in modo soddisfacente sia i fenomeni del mondo subnucleare sia quelli che si verificano all'altro estremo della scala dimensionale conosciuta, come l'attrazione tra pianeti, stelle o galassie? La risposta potrebbe essere affermativa o negativa a seconda che si consideri, come si dice, il bicchiere mezzo pieno o mezzo vuoto, e riguarda essenzialmente la teoria delle stringhe, che da circa quarant'anni occupa da protagonista, tra alterne vicende, lo scenario della fisica teorica.

Il punto di partenza consiste nel considerare proprietà delle particelle elementari come manifestazioni delle vibrazioni di minuscole entità – le stringhe appunto – infinitamente sottili ma di lunghezza finita (intorno a 10^{-34} metri), o anche di altri oggetti dotati di dimensioni aggiuntive, le cosiddette D-brane, e di descriverne il comportamento in spazi a 26 dimensioni, ridotte poi a dieci nella versione supersimmetrica, una delle numerose elaborazioni della teoria originale.

I successi di questo approccio sono numerosi e indubitabili; basterà citare la capacità di descrivere agevolmente i fenomeni elettromagnetici e le forze nucleari, come quella di conciliare i due grandi pilastri su cui si regge l'intera fisica dell'ultimo secolo, ovvero la meccanica quantistica e la relatività. Ma ci sono anche grandi ostacoli, primo fra tutti lo scarso numero di conferme sperimentali alla teoria, anche se i dati che verranno raccolti nei prossimi mesi dall'acceleratore di particelle LHC, costruito al CERN di Ginevra, potranno dire se almeno si è sulla strada giusta.

La seconda difficoltà, forse ancora più profonda, è nella natura esotica e misteriosa della teoria delle stringhe: alcuni dei maggiori esperti in questo campo sono arrivati a dichiarare di non riuscire a comprenderla. Si può ben capire quindi anche lo sforzo che occorre per farne passare una versione divulgativa, come quella che si trova in questo saggio alquanto conciso di Steven S. Gubser, fisico della Princeton University, appena tradotto in italiano.

«Studiando la teoria delle stringhe si rimane vittime di un senso di ineluttabilità», scrive Gubser. «Come potrebbe il mondo essere diverso? Come potrebbero tali verità profonde essere prive di contatto con la realtà?». Nello stridente contrasto tra risultati teorici di grande bellezza ed eleganza, da una parte, e mancanza di conferme sperimentali, dall'altra, c'è tutto il fascino delle stringhe. Almeno per chi ha il cuore di cimentarvisi.

Folco Claudi

Il babbuino e la metafisica
di Dorothy Cheney e Robert Seyfart
Zanichelli, Bologna, 2010
pp. 378 (euro 24,00).

Nella testa dei babbuini, per studiare l'intelligenza sociale

Correva l'anno 1890 quando «Jack il Segnalatore» – che da molto tempo era ufficialmente sul registro impiegati della compagnia ferroviaria sudafricana come addetto agli scambi di una piccola stazione – si spegneva nel compianto dei compagni di lavoro. L'episodio sarebbe caduto nel dimenticatoio se Jack non avesse avuto una particolarità: era un babbuino. L'aneddoto, peraltro vero, segnala l'elevato livello di intelligenza e ancor più le capacità di collaborazione di questi animali evolutesi grazie all'intensa vita sociale degli ampi gruppi in cui vivono in natura, composti spesso da oltre 100 individui. I babbuini rappresentano dunque un oggetto di studio privilegiato per comprendere la genesi della mente e del comportamento sociale umano. Già nel 1838 Darwin, dissentendo da quanti sostenevano che il pensiero e il comportamento animali fossero interamente basati sull'istinto e quelli umani sulla ragione, per vedervi invece una linea di continuità, annotava in un taccuino: «Colui che comprende il babbuino contribuirà alla metafisica più di Locke».

Questo tipo di studi non può però esaurirsi negli spazi di un laboratorio, e per questo gli autori hanno intrapreso nella piana del delta dell'Okavango un'ultradecennale ricerca sul campo di cui il libro dà un vivido resoconto. Dalla descrizione della vita quotidiana di un gruppo di babbuini, resa complessa dall'esistenza di una doppia gerarchia, una maschile in perenne cambiamento e una femminile molto più stabile, emerge «una sorta di melodramma alla Jane Austen, dove ogni individuo deve prevedere il comportamento degli altri e stringere rapporti che fruttano il massimo vantaggio».

La sfida raccolta da Cheney e Seyfart richiedeva però ben di più di un classico studio osservativo, portandoli a sviluppare una serie di complessi esperimenti in natura per capire fino a che punto si spinga l'intelligenza sociale dei babbuini, e a scoprire non solo che sono in grado di afferrare, oltre ai propri, anche i rapporti di parentela degli altri, ma di seguire con attenzione l'evoluzione di tantissimi rapporti transitori fra gli altri membri del gruppo e, pur non possedendo una «teoria della mente» perfettamente equiparabile alla nostra, di comprenderne e prevedere motivazioni e intenzioni. I raffinati esperimenti, progettati per resistere alle critiche metodologiche del più rigido comportamentista, sono descritti minuziosamente senza che tutto questo, grazie alla passione degli autori che spira dalle righe, vada a scapito della godibilità di un libro che affascinerà sia chi è interessato all'etologia, sia chi si interroga sui misteri della mente.

Marco Gimmel

Tre mostre, tre temi, un pianeta

Alcuni dei palazzi più belli di Perugia, Assisi e Gubbio ospitano tre mostre sulle trasformazioni presenti e passate della Terra

Fino a primavera inoltrata Perugia, Assisi e Gubbio ospitano tre mostre dedicate «ai cambiamenti del clima che rendono urgente la necessità di produrre energia pulita; all'acqua, elemento primario la cui disponibilità è essenziale per lo sviluppo sostenibile; ai dinosauri, che con la loro misteriosa estinzione ancora ci appassionano e ci pongono domande sulla vita nel pianeta che cambia». Parole di Piero Angela, che ha supervisionato l'unico allestimento italiano delle tre mostre originariamente realizzate dall'American Museum of Natural History di New York.

Le trasformazioni sono il filo rosso del percorso che si snoda nelle città umbre, prendendone a prestito alcuni dei palazzi più belli. Trasformazioni che hanno preoccupanti dimensioni mondiali quando si tocca il tema del cambiamento globale, soprattutto, per le conseguenze dirette che avrà sulle popolazioni di vastissime aree della Terra. Non si possono nascondere le minacce, ma la mostra di Palazzo Baldeschi al Corso a Perugia indica le uniche possibilità di uscita: la ricerca di nuove fonti di energia per il futuro e la sviluppo di una cultura di alleanza con il pianeta.

Un elemento determinante della vita è l'acqua: non ci può essere sviluppo senza una distribuzione equa delle risorse idriche. Dopo aver attraversato un simbolico schermo di nebbia, il percorso allestito nelle sale di Palazzo Bonacquisti ad Assisi porta a scoprire non solo i segreti del ciclo dell'acqua, ma anche gli aspetti culturali e storici che ruotano attorno alla fragile vita dell'oro blu.

Un porzione di 70 metri quadri di Palazzo Consoli a Gubbio, invece, è stata trasformata in una piccola foresta di Liaoning, in Cina, com'era 130 milioni di anni fa. È solo una delle porte per entrare nel mondo dei dinosauri, che dopo secoli di studi continuano a nascondere molti aspetti della loro vita e, soprattutto, della loro misteriosa estinzione. Anche questa, in fondo, è stata una grande trasformazione del pianeta, che ha permesso ai mammiferi di primeggiare tra le specie viventi.

Il Pianeta che cambia mostra che non esistono risposte definitive, ma l'accrescimento della conoscenza e la continua ricerca di spiegazioni ai fenomeni del mondo sono il nocciolo della scienza stessa, oltre che le uniche garanzie per il futuro della Terra.

Marco Boscolo

Da New York all'Umbria. Alcuni allestimenti delle tre mostre: riproduzione orso polare a grandezza naturale sui rifiuti; rappresentazione di un ecosistema acquatico; rettile volante (pterosauro) coperto da una peluria di fibre sottili.

Dove & quando:

IL PIANETA CHE CAMBIA

Clima
fino al 5 giugno
Palazzo Baldeschi al Corso
Perugia

Acqua
fino al 15 maggio
Palazzo Bonacquisti
Assisi

Dinosauri
fino al 25 aprile
Palazzo Consoli
Gubbio
www.ilpianetachecambia.it

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso
della disinformazione nei media

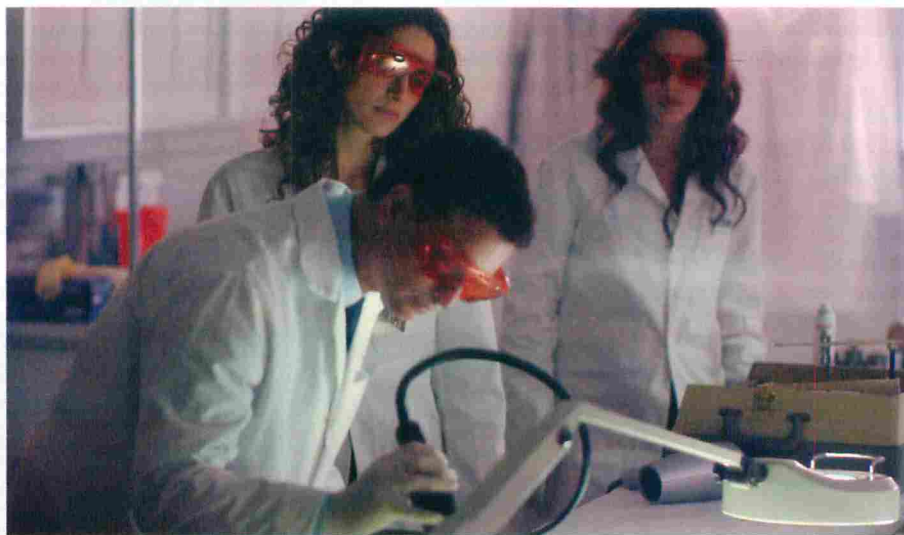
Malascienza sugli schermi

Il problema è la pretesa di realismo: ecco perché CSI fa più danni di Star Wars

Di recente il «Sunday Times» ha pubblicato una classifica dei peggiori film di fantascienza in termini di rigore scientifico: al primo posto si è piazzato *2012*, di Roland Emmerich. Merito, per così dire, del fatto che il film attribuisce il catastrofico surriscaldamento del nucleo della Terra a un aumento dell'emissione solare di neutrini: di tutte le particelle elementari, gli sceneggiatori hanno scelto proprio quella nota per la sua peculiarità di interagire rarissimamente con la materia, tanto che decine di miliardi di neutrini solari trapassano ogni centimetro quadrato della superficie terrestre ogni secondo. Al secondo posto c'è *The Core*, di Jon Amiel, dove il nucleo terrestre rallenta misteriosamente e per salvare il mondo dalla cottura a microonde occorre farne ripartire la rotazione collocandovi delle bombe atomiche, grazie a intrepidi magmanauti dotati di un veicolo che non solo è insensibile a calore e pressione, ma è dotato di gravità propria: nonostante scenda in verticale, infatti, gli eroi si spostano al suo interno orizzontalmente, come su un treno.

È facile prendersela con la fantascienza, specialmente quella cinematografica, che spesso per esigenze narrative deve prendersi qualche licenza (lo fa anche l'accuratissimo *2001: Odissea nello spazio* di Stanley Kubrick). Ma si tratta di storie fantastiche, che non hanno pretesa di rappresentare la realtà quotidiana del mondo: sospendiamo volentieri la nostra incredulità quando un'astronave romba nel vuoto dello spazio o quando Iron Man atterra bruscamente senza che Tony Stark, all'interno dell'armatura, muoia spappolato per la decelerazione istantanea.

I guai cominciano quando l'abuso della scienza avviene in contesti che hanno la pretesa del realismo e dai quali lo spettatore presume di poter imparare nozioni pratiche. Ma le automobili non esplodono in caso d'incidente e gli spari non fanno il rumore modulato che si sente nei film. Negli Stati Uniti si lamenta il diffondersi dell'«effetto CSI» fra le giurie, sempre più spesso convinte che le perizie della polizia scientifica siano perfette, infallibili, capaci di miracoli e ottenibili in poco tempo. Eppure proprio in CSI si spacciano per tecniche reali delle assurdità come una confessione «registrata» nei solchi di un vaso, come in un disco di vinile, e perfettamente ascoltabile con un fascio laser, o l'immancabile ingrandimento esagerato di una foto sgranata o dell'immagine di una telecamera di sorveglianza fino a rivelare volti e dettagli minutissimi. In una puntata addirittura si identifica una persona dal suo riflesso nell'occhio di un'altra, ripresa da lontano da una telecamera a circuito chiuso.

Scene di questo genere contribuiscono a una visione mitica e magica della tecnologia che influenza anche gli inquirenti nostrani: la richiesta di vagliare le immagini satellitari civili e militari nella speranza che abbiano colto qualche spostamento della vittima, benché tecnicamente assurda per qualunque addetto ai lavori (specialmente in caso di crimini commessi di notte, al coperto o con tempo nuvoloso), compare sempre più spesso nelle indagini, come nei casi di Cogne e Garlasco e in quello di Yara Gambirasio. Uno spreco di tempo e risorse che distoglie da forme d'investigazione meno tecnologiche, ma più efficaci.

Polizia poco scientifica. Le improbabili soluzioni tecnologiche della squadra di investigatori televisivi di *CSI* hanno influenzato giurie degli Stati Uniti e anche qualche magistrato italiano.

CBS Production/Photomovie

Per combattere il proliferare della malascienza nel mondo dell'intrattenimento, con gli effetti diseducativi che ne conseguono, la National Academy of Sciences statunitense ha costituito il Science and Entertainment Exchange, che offre a registi e sceneggiatori di Hollywood consulenze di esperti nei vari settori, capaci di evitare gli strafalcioni scientifici senza intralciare la narrazione e spesso arricchendola. E c'è anzi chi fa divulgazione scientifica giocando con film, telefilm e fumetti, come James Kakalios, fisico dell'Università del Minnesota, autore di *La fisica dei supereroi* (Einaudi). A quando un emulo tra gli scienziati italiani?

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore e aspirante cuoco interessato all'esplorazione scientifica del cibo. Autore di *Pane e Bugie* e *OGM tra leggende e realtà*

Tranci prelibati di tonno rosso

Come cucinare le carni di questo pesce facendo attenzione ad alcune proteine

Solitamente i pesci hanno carni chiare o addirittura bianche. Tra le eccezioni c'è un pesce apprezzato già dagli antichi romani: il tonno. In realtà il genere *Thunnus* include varie specie, anche se spesso dal punto di vista commerciale non vengono distinte. Il più pregiato è sicuramente il *Thunnus thynnus*, il «tonno rosso». Predatore a sangue caldo, vive in branchi nell'Oceano Atlantico e può superare i quattro metri di lunghezza e i 600 chilogrammi di peso. Una parte della popolazione in primavera entra nel Mediterraneo per riprodursi tra giugno e agosto, mentre il resto si riproduce nel Golfo del Messico. È un pesce a rischio di estinzione a causa della pesca a larga scala che ha subito negli ultimi decenni. Più comune e più piccolo, ma meno pregiato, il *Thunnus albacares*, il «tonno pinna gialla». Proveniente dall'Oceano Pacifico e dall'Oceano Indiano, è la specie più usata dall'industria conserviera per preparare il tonno in scatola. Con ogni probabilità, se acquistate un trancio di tonno fresco al supermercato state acquistando un tonno pinna gialla. La pesca del tonno rosso infatti è sottoposta a una stretta regolamentazione, allo scopo di evitarne l'estinzione.

Il colore rosso della carne del tonno è per il consumatore un parametro fondamentale per valutarne la qualità e la freschezza. Il pigmento responsabile della colorazione rossa della carne del tonno è una proteina chiamata mioglobina. Si trova nelle cellule muscolari di molti animali e agisce da deposito di ossigeno, fornendolo ai muscoli che lavorano. Alcuni mammiferi come foche e balene possono rimanere in immersione per lunghi periodi senza respirare perché hanno una grande quantità di mioglobina nei muscoli.

Di norma, l'ossigeno viene usato durante il movimento muscolare sostenuto, e più una specie animale ne consuma più la concentrazione di mioglobina nei suoi muscoli deve essere elevata. Il tonno può raggiungere i 75 chilometri all'ora e mantenerli per lungo tempo percorrendo fino a 200 chilometri in un giorno. Perciò ha bisogno di una notevole quantità di mioglobina, ed è per questo che la sua carne è così rossa.

Quando questa molecola si lega all'ossigeno si trasforma in ossimioglobina, di colore rosso brillante. Un'esposizione prolungata all'ossigeno o un congelamento a temperature di poco inferiori a zero gradi Celsius ossida la mioglobina a metmioglobina, dal poco appetitoso colore bruno.

Il filetto di tonno è ottimo scottato o alla griglia. Se notate una parte molto più scura nel vostro trancio è meglio toglierla. È una porzione meno pregiata, vicina alla lisca centrale, chiamata buzzonaglia, resa scura della forte irrorazione di sangue. Ha un sapore più intenso e va bene per preparare un sugo per la pasta una volta ripulita un po' dal sangue sotto acqua corrente.

Due proteine nei muscoli, il collagene e la miosina, sono molto sensibili al calore. Quando vengono riscaldate si denaturano, e accorciandosi «strizzano» fuori l'acqua dai tessuti muscolari rendendoli asciutti e poco gradevoli al palato. La denaturazione della miosina inizia a 40 gradi, e raggiunge il massimo attorno ai 50. A 55 gradi invece inizia la denaturazione del collagene con un massimo a circa 60 gradi. Possiamo misurare empiricamente la temperatura in cottura di un trancio di tonno osservandone il colore. Anche la mioglobina infatti si denatura attorno ai 60 gradi, diventando grigiastra. È opportuno quindi, quando si cuoce un trancio di tonno in una padella molto calda, lasciare la carne rosata all'interno, non superando i 45-50 gradi.

Se invece consumate il tonno in scatola, ricordate che non si deve «tagliare con un grissino», come recita una pubblicità. Il tonno di qualità è sodo perché è costituito da un trancio. Se invece si sbriciola sono dei rimasugli di lavorazione. Mangiatevi il grissino, ma cambiate scatoletta.

Filetto giapponese. Carne di tonno rosso in vendita al mercato del pesce di Tsukiji, a Tokyo. Il Giappone è il più grande consumatore di *Thunnus thynnus* al mondo.

Koji Sasahara/AP Photo/LaPresse

Contact: il giorno dopo

di Tim Folger

Come reagiremmo alla scoperta della presenza di una civiltà extraterrestre in qualche angolo della galassia? Gli straordinari progressi nella potenza dei computer potrebbero permetterci di rilevare un segnale da ET entro pochi decenni. E gli astronomi hanno già le idee abbastanza chiare su come si svolgeranno gli eventi e quali saranno le azioni più adeguate da intraprendere.

La vera rivoluzione sessuale

di John A. Long

La prima comparsa della fertilizzazione interna nei vertebrati è stata tradizionalmente stabilita intorno a 350 milioni di anni fa e attribuita a remoti parenti degli squali. Recenti scoperte fossili indicano però che la copula ha un'origine ben più antica, e che i primi a praticarla, «inventando» lo sviluppo della prole nel corpo materno, furono pesci molto più primitivi. Rivoluzionando un percorso evolutivo che arriva fino agli esseri umani moderni.

I rifugiati del clima

di Alex de Sherbinin, Koko Warner e Charles Ehrhart

La maggiore variabilità delle precipitazioni e il cambiamento dei livelli dei mari legati al riscaldamento globale provocheranno migrazioni di massa di proporzioni senza precedenti nella storia dell'umanità, che riguarderanno popolazioni e regioni del pianeta già duramente colpite sia da sconvolgimenti politici sia da catastrofi naturali di origine climatica.

LE SCIENZE S.p.A.
Sede legale: Via Cristoforo Colombo 149, 00147 ROMA.

Abbonamenti e arretrati: 199 700 721
(02 39633433 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari), il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta (IVA inclusa)

redazione: tel. 06 49823181
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Mauro Pelella
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Distribuzione per l'Italia
Gruppo Editoriale L'Espresso
Divisione La Repubblica,
via Cristoforo Colombo 149, 00147 Roma.

Stampa
Rotosud: Loc. Miole Le Campore-Oricola;
Legatoria Europea (allestimento) Ariccia (Roma).
Copertina: Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Alessandro Alacevich, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - gennaio 2011

ISSN0036-8083

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson, Christine Soares, Gary Stix, Kate Wong.

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and publisher: Bruce Brandfon;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Benedetta Antonielli: *Lunga vita al Web, Evoluzione tra i ghiacci*; Marianna Bergamin: *Jane della giungla, Vita invisibile*; Andrea Capocci: *L'altra minaccia climatica*; Folco Claudi: *L'avvento dei cybercoleotteri*; Daniele Gewurz: *Una teoria geometrica del tutto*; Alex Saragosa: *Capitalisti in orbita*; Alfredo Tutino: *Sangue dai fossili*.

ABBONAMENTI SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel.199.700.721 (02 39633433 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari), il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta (IVA inclusa); Fax 02 26681991
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 70648277, Fax. 02 70648237

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 7,80
Estero	
abb. annuale	€ 52,00
abb. biennale	€ 87,00
abb. triennale	€ 110,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7025 del 21/12/2010

Themba Hadebe/AP Photo/LaPresse (*rifugiati*); Grant Delin (*telescopio*)

PIETRO CASCELLA AL PLANETARIO. I SEGRETI DEL CIELO

fino al 20 marzo 2011
aperto dal martedì
alla domenica
dalle 9.00 alle 18.45

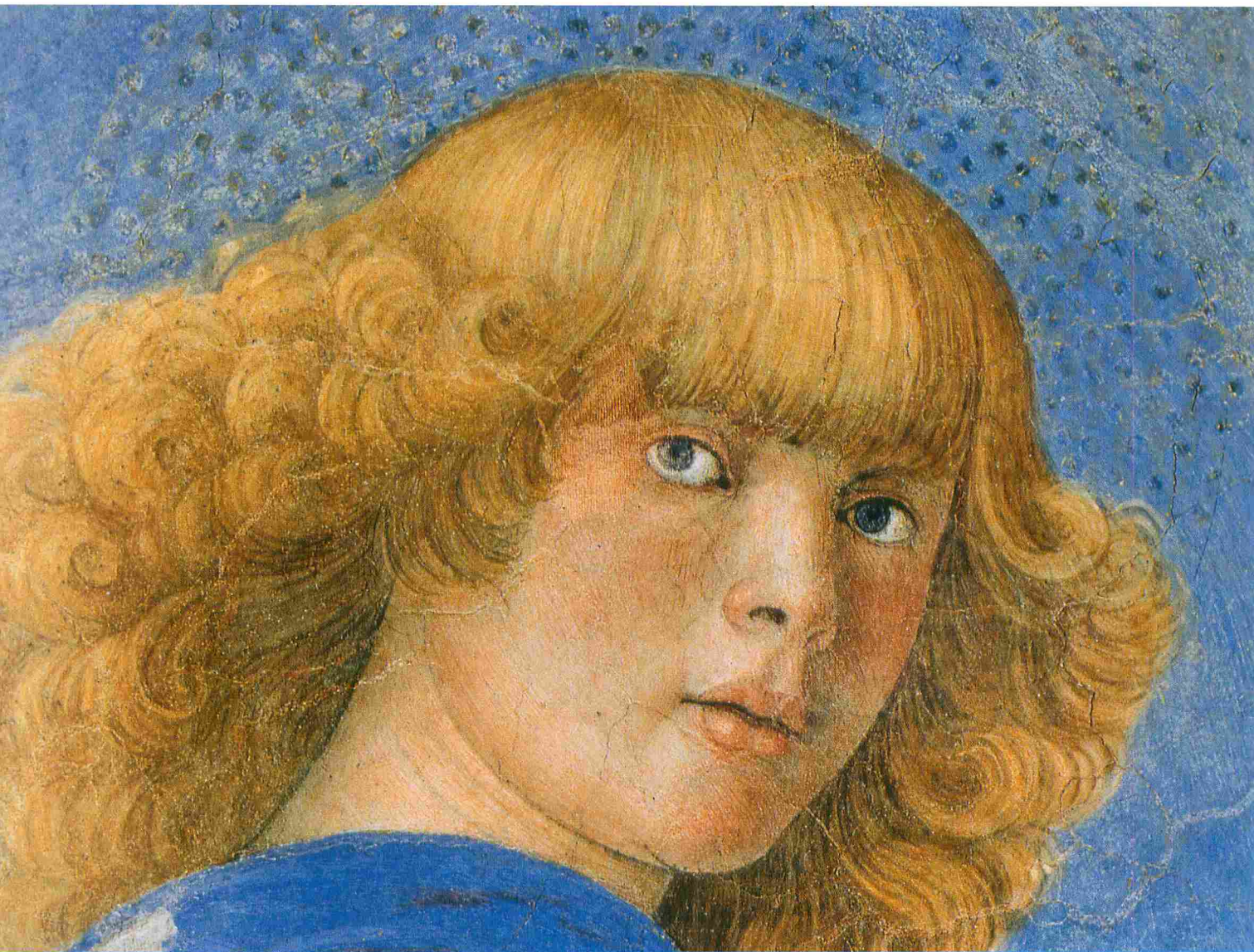
Museo Nazionale Romano
Aula ottagona
ex Planetario delle
Terme di Diocleziano

via G. Romita 8 - Roma

info: 06 39967700
www.pierreci.it

tassinari/vetta

MELOZZO DA FORLÌ

L'umana bellezza tra Piero della Francesca e Raffaello

Forlì, Musei San Domenico 29 gennaio - 12 giugno 2011

info e prenotazioni
www.mostramelozzo.it
mostra: 199 75 75 15

riservato gruppi e scuole:
02 43 35 35 25 - servizi@civita.it

catalogo SilvanaEditoriale

Fondazione
Cassa dei Risparmi
di Forlì
in collaborazione con
Comune di Forlì